



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

**APLIKACE PRO ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ
NÁMĚRŮ Z OPTICKÉHO REFLEKTOMETRU**

GUI FOR THE PROCESSING OF MEASUREMENTS FROM THE OPTICAL REFLECTOMETER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtech Vitek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petr Münster, Ph.D.

BRNO 2017

ABSTRAKT

Táto diplomová práca je zameraná na vytvorenie aplikácie, ktorá spracováva namerané dáta z prístroja OTDR. Prvá časť práce popisuje optické vlákna, prenosové vlastnosti vlákien a metódy merania útlmu na optickej trase. Druhá časť práce popisuje princíp metódy OTDR a zmerané udalosti na optickej trase. Posledná časť práce sa venuje samotnej tvorbe aplikácie podľa zadania.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

Optické vlákno, mŕtva zóna, útlm, dynamický rozsah, OTDR

ABSTRACT

This diploma thesis is focused on realisation of the application, that process and display measured data from OTDR device. The first section describes optical fibers, transmission characteristics of fibers and measurement methods of the attenuation on optical path. The second section describes the principle of the OTDR method and measured events on optical path. Final part is dedicated to realisation of the application by the assignment.

KEYWORDS

Optical fibre, deadzone, attenuation, dynamic range, OTDR

VITEK, Vojtech *Návrh aplikace pro grafické zpracování náměrů z optického reflektometru*: diplomová práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2017. 73 s. Vedúci práce bol Ing. Petr Münster, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju diplomovou prácu na tému „Návrh aplikácie pro grafické zpracování náměrů z optického reflektometru“ vypracoval(a) samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor(ka) uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil(a) autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol(-la) nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý(-á) následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizovaný v laboratořích podpořených projektem Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX); registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

POĎAKOVANIE

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Petru Münsterovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno

.....

podpis autora(-ky)

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| Úvod | 10 |
| 1 Optické vlákno | 11 |
| 1.1 Prenosové vlastnosti optických vlákien | 11 |
| 1.1.1 Útlm optických vlákien | 11 |
| 1.1.2 Disperzia v optických vláknach | 13 |
| 1.2 Mnohovidové vlákno | 14 |
| 1.2.1 Mnohovidové vlákno so skokovým indexom lomu | 15 |
| 1.2.2 Mnohovidové vlákno s gradientným indexom lomu | 15 |
| 1.3 Jednovidové vlákno | 15 |
| 1.4 Najpoužívanějšíe jednovidové vlákna podľa organizácie ITU-T | 16 |
| 1.5 Komunikácia optickým vláknom | 17 |
| 2 Meranie útlmu optických trás | 19 |
| 2.1 Metóda dvoch dĺžok | 19 |
| 2.2 Metóda vložených strát | 20 |
| 3 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) | 21 |
| 3.1 Ako pracuje | 22 |
| 3.1.1 Rayleighov rozptyl | 23 |
| 3.1.2 Fresnelov odraz | 23 |
| 3.2 Špecifikácie OTDR | 24 |
| 3.2.1 Dynamický rozsah | 24 |
| 3.2.2 Mŕtva zóna | 26 |
| 3.2.3 Rozlíšenie | 27 |
| 3.2.4 Presnosť senzora | 28 |
| 3.2.5 Presnosť merania dĺžky | 29 |
| 3.2.6 Vlnová dĺžka | 29 |
| 3.3 Parametre merania | 30 |
| 3.3.1 Priemerovanie | 32 |
| 3.4 Meranie pomocou OTDR | 33 |
| 3.4.1 Informácia o OTDR trase | 33 |
| 3.4.2 Udalosti na trase | 33 |
| 3.4.3 Meranie útlmu a dĺžky vlákna | 38 |
| 3.4.4 Meranie celkového útlmu trasy | 39 |
| 3.4.5 Meranie útlmu spojky | 40 |
| 3.5 SOR súbor | 41 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5.1 | Map blok | 42 |
| 3.5.2 | Blok všeobecných parametrov | 42 |
| 3.5.3 | Blok dodávateľa | 43 |
| 3.5.4 | Blok fixných parametrov | 43 |
| 3.5.5 | Blok kľúčových udalostí | 44 |
| 3.5.6 | Blok dátových bodov | 45 |
| 3.5.7 | Blok kontrolného súčtu | 46 |
| 4 | Program na spracovanie nameraných údajov z refraktometru | 47 |
| 4.1 | Popis funkcií programu | 47 |
| 4.2 | Riešenie | 53 |
| 4.2.1 | Detekcia hrán v signále | 53 |
| 4.2.2 | Odšumenie signálu | 59 |
| 4.2.3 | Parser SOR súboru. | 62 |
| 4.2.4 | SOR-CSV konvertor | 67 |
| 5 | Záver | 69 |
| | Literatúra | 70 |
| | Zoznam príloh | 72 |
| A | Obsah přiloženého CD | 73 |

ZOZNAM OBRÁZKOV

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Optické vlákno [9] | 11 |
| 1.2 | Útlumová charakteristika optického vlákna[1] | 12 |
| 1.3 | Mnohovidové vlákno so skokovou zmenou indexu lomu [11] | 15 |
| 1.4 | Mnohovidové vlákno s gradientnou zmenou indexu lomu [11] | 15 |
| 1.5 | Šírenie svetla v jednoovidovom vlákne [11] | 16 |
| 1.6 | Komunikácia optickým vláknom [2] | 18 |
| 2.1 | Meranie útlmu metódou dvoch dĺžok [10] | 20 |
| 2.2 | Meranie útlmu metódou vložených strát [10] | 20 |
| 3.1 | OTDR značky EXFO [8] | 21 |
| 3.2 | Schematické zobrazenie Rayleighovho rozptylu [5] | 23 |
| 3.3 | Dynamický rozsah [2] | 24 |
| 3.4 | Metódy merania dynamického rozsahu [6] | 25 |
| 3.5 | Útlmová mŕtva zóna [6] | 27 |
| 3.6 | Mŕtva zóna udalosti [6] | 27 |
| 3.7 | Porovnanie detekcie dvoch spojok pri dvoch rôznych šírkach pulzu [5] | 31 |
| 3.8 | Porovnanie Rýchly sken a Pomalý sken [7] | 32 |
| 3.9 | Optická trasa | 33 |
| 3.10 | Samotné vlákno [6] | 34 |
| 3.11 | Začiatok vlákna [6] | 34 |
| 3.12 | Koniec vlákna [6] | 35 |
| 3.13 | Zvar [6] | 35 |
| 3.14 | Odraz na konektore [6] | 36 |
| 3.15 | Ohyb [6] | 37 |
| 3.16 | Prasknutie [6] | 37 |
| 3.17 | Zlomené vlákno [6] | 38 |
| 3.18 | Prepájací kábel [6] | 38 |
| 3.19 | Princíp merania dĺžky [7] | 39 |
| 3.20 | Meranie celkového útlmu trasy pomocou kurzorov [2] | 40 |
| 3.21 | Porovnanie LSA a dvojbodovej metódy [2] | 41 |
| 4.1 | Grafické rozhranie programu | 47 |
| 4.2 | Pás tlačidiel | 48 |
| 4.3 | Kurzory A a B | 49 |
| 4.4 | Detail na modré značky | 49 |
| 4.5 | Zobrazenie x a y súradníc na modrej značke | 50 |
| 4.6 | Zobrazenie troch odšumených grafov v grafovej oblasti | 50 |
| 4.7 | Udalosť a sekcia | 50 |
| 4.8 | Parametre merania po kliknutí na tlačidlo i. | 51 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.9 | Exportované meranie do PDF formátu | 52 |
| 4.10 | Meranie pomocou kurzorov v záložke Markers | 53 |
| 4.11 | Signál pri meraní na vlnovej dĺžke 1310nm | 54 |
| 4.12 | Filter 1. derivácia Gaussovho filtra pri scale = 4 | 54 |
| 4.13 | Pôvodný signál po konvolúcii s 1. deriváciou Gauss. filtra | 55 |
| 4.14 | Pôvodný signál s detekovaným výrazným šumom na konci | 55 |
| 4.15 | Filter 1. derivácia Gaussovho filtra pri scale = 8 | 56 |
| 4.16 | Orezaný signál po konvolúcii s 1. deriváciou Gauss. filtra | 56 |
| 4.17 | Orezaný signál s detekovanými hranami | 57 |
| 4.18 | Gaussov filter s veľkosťou scale = 8 | 60 |
| 4.19 | Pôvodný signál a odšumený signál | 60 |
| 4.20 | Priblížený pôvodný a odšumený signál | 61 |
| 4.21 | Výpis outdiag | 64 |
| 4.22 | Výpis fixedParamstext stringu | 67 |
| 4.23 | Užívateľské rozhranie programu Konvertor | 68 |
| 4.24 | Sprievodca otvorením súboru. | 68 |
| 4.25 | Časť exportovaného CSV súboru. | 68 |

ÚVOD

Vyvinutie optického vlákna začalo revolúciu v moderných telekomunikáciách. Za niekoľko desiatok rokov od navrhnutia prvého vlákna sa zvýšila efektívna rýchlosť na ktorej môžu byť prenášané informácie z jednotiek kilohertzov na jednotky gigahertzov. S použitím vlnového multiplexu DWDM môže prenosová rýchlosť dosiahnuť stovky gigabitov za sekundu. Spolu so zvyšovaním prenosových rýchlostí prichádza požiadavka na presné prístroje, ktoré dokážu testovať optické vlákna.

Na overenie, či je svetlo prenášané vo vláknach spoľahlivo bolo vyvinuté množstvo nástrojov. Napríklad sady na testovanie útlmu skladajúce sa z ustáleného zdroja svetla a merača výkonu sa používajú na testovanie útlmu na celom optickom vlákne. Sady na meranie útlmu odrazu ORL(optical return loss) merajú množstvo svetla odrazené späť smerom k zdroju svetla. Viditeľný lokalizátor chýb VFL (Visible fault locator) pošle svetlo z viditeľného lasera alebo LED do vlákna. VFL umožňuje vidieť unikajúce svetlo z vlákna na mieste zlomu ostrého ohnutia. Každý z týchto prístrojov má isté výhody a vlastnosti, ktoré im umožňujú použitie na testovanie obmedzenej podmnožiny charakteristík vlákna. Táto diplomová práca je venovaná testovaciemu prístroju reflektometer OTDR (Optical time-domain reflectometer).

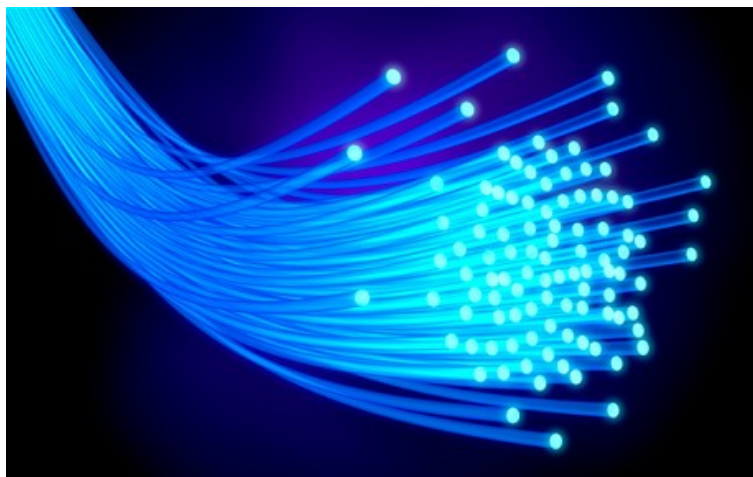
Zdroje výkonu, merače optického výkonu, ORL testery dokážu zmerať útlm, ale nedokážu určiť polohu problému pozdĺž vlákna. OTDR je prístroj používaný na testovanie schopnosti vlákna prenášať svetlo a na nájdenie polohy chyby. OTDR sa stal najširšie používaným prístrojom na testovanie optických vlákien počas inštalácie a údržby.

1 OPTICKÉ VLÁKNO

Optické vlákno je plastové alebo sklenené vlákno, ktoré prenáša signály pomocou svetelného lúča. Vlákno sa používa v súčasnosti ako náhrada za metalické vedenie. Optické vlákno má menší merný útlm ako metalické vlákno a je odolné voči elektromagnetickému rušeniu.

Optické vlákno je tiež valcový dielektrický vlnovod, ktorým sa šíria elektromagnetické vlny v smere osi vlákna. Využitý je tu princíp totálneho odrazu na rozhraní dvoch prostredí s rozdielnym indexom lomu.

Základné delenie vlákien je na jednoovidové a mnohovidové.



Obr. 1.1: Optické vlákno [9]

1.1 Prenosové vlastnosti optických vlákien

Prenosové vlastnosti vlákien závisia predovšetkých na druhu konštrukcie vlákien. Medzi najdôležitejšie prenosové vlastnosti patria útlm a disperzia.

1.1.1 Útlm optických vlákien

Útlm optických vlákien je spôsobený:

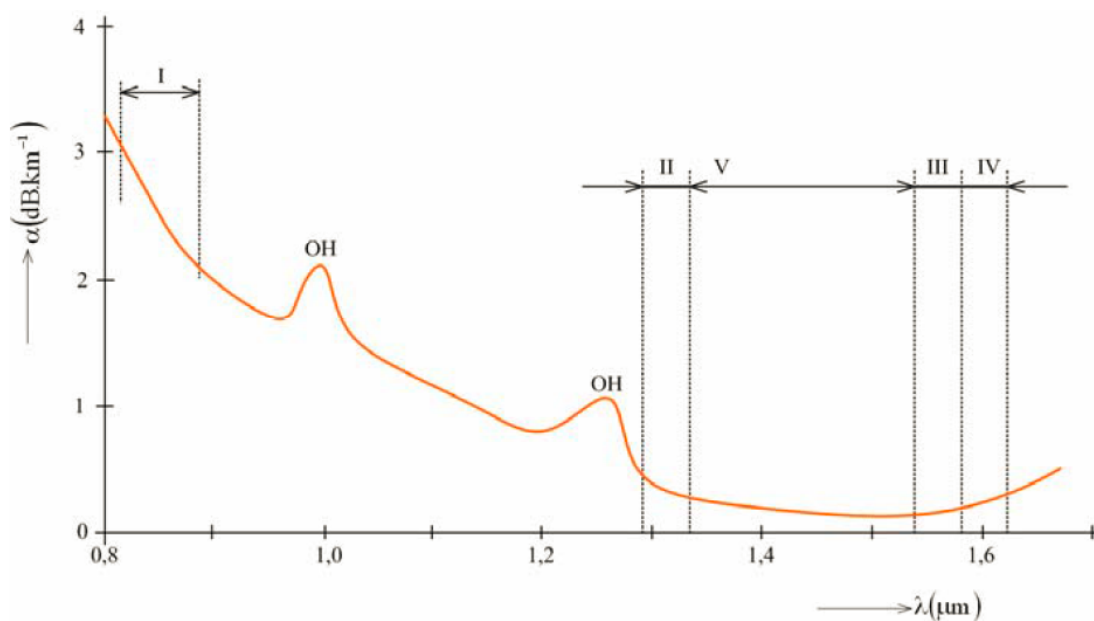
- absorpciou prostredia, v ktorom sa energia šíri
- vyžarovaním z vlákna
- rozptylom na nehomogenitách

Straty absorpciou v ultrafialovej a viditeľnej oblasti sú spôsobené prechodmi medzi atomárnymi a v infračervenej oblasti medzi molekulárnymi úrovňami základného materiálu, prímiesí a nečistôt. Najväčší vplyv majú ióny kovov Fe, Cu, Cr, ktorých rezonancia je na určitých frekvenciách sprevádzaná tepelnými stratami. Rezonančný kmitočet iónov OH, ktoré tvoria hlavný podiel strát, odpovedá vlnovej dĺžke 2,8 μm .

Leží tak mimo pásmo využívané pre prenos na optických kmitočtoch. Druhá harmonická $1,38\text{ }\mu\text{m}$ a tretia harmonická $0,94\text{ }\mu\text{m}$ spadajú do oblasti využívaného pásma. Vlákná s nízkym merným útlmom musia mať nízku koncentráciu iónov OH a iónov kovov. Straty vyžarovaním spôsobuje lom svetelných lúčov na rozhraní dvoch dielektrických prostredí s rôznymi vlastnosťami. Časť energie preniká z jadra von.[1]

Straty rozptylom sú spôsobené mikronehomogenitami v indexe lomu materiálu. Tieto mikronehomogenity tvoria náhodne rozložené molekuly v amorfnom materiáli. Rayleighove straty sa nazývajú rozptylové straty, ktoré vznikajú na nehomogenitách rozmerovo menších ako je vlnová dĺžka svetla. Môžu to byť aj drobné nečistoty. Rayleighove straty sú nepriamo úmerné štvrtéj mocnine vlnovej dĺžky šíriaceho sa svetla. Najvyššie sú v ultrafialovej oblasti. Rayleighov rozptyl je všesmerový. K spomínaným stratám je možné zaradiť aj straty spôsobené nedodržaním dokonalej geometrie. Tie vznikajú pri výrobe nedodržaním presných tvarov, rozmerov jadra a plášťa, trhliny v materiáli jadra. Je možné sem zaradiť aj poruchy priamočiarosti osí svetlovodu. [1]

Útlm vlákna je závislý od vlnovej dĺžky svetla. Útlmové vlastnosti vlákna popisuje útlmová charakteristika optického vlákna. Je to závislosť útlmu vlákna na vlnovej dĺžke svetla.



Obr. 1.2: Útlmová charakteristika optického vlákna[1]

Vlnové dĺžky na útlmovej charakteristike s najnižším útlmom sú rozdelené do takzvaných okien, ktoré sa v praxi bežne používajú. Známych je 5 okien:

1. okno (850 nm) sa používa u mnohovidových vlákien. V tomto okne útlm strmo klesá a hlavne vyššie vlnové dĺžky majú útlm dostatočný na optický prenos. Na

dialkový prenos sú útlmy v tomto okne príliš vysoké. Okno sa využíva hlavne u prístupových sietí.

2. okno(1280 až 1335 nm) je najnižšie okno použiteľné pre jednovidový prenos vláknom s priemerom 9/125 μm . Útlm je typicky pod 0,35 dB/km. Okno sa používa na dialkový prenos.

3.okno(1530 až 1565 nm) predstavuje minimálny útlm kremenného vlákna v rozsahu 0,19 až 0,22 dB/km. Okno sa používa na dialkový prenos.

4. okno(1535 až 1610 nm) predstavuje absolútne minimum útlmu. Od 3. okna sa veľmi nelíši. WDM v kombinácii s optickými zosilovačmi umožňuje pri súčasnom použití 3. a 4. okna zdvojnásobiť prenosovú kapacitu.

5. okno(1335 až 1530 nm) je použiteľné od konca 90. rokov, kedy boli vyrobené vlákna s veľmi nízkou koncentráciou OH. Stratilo sa tak lokálne maximum útlmu na 1380 nm. Okná 2 a 5 je možné využiť spoločne. Spolu môžu vytvoriť prenosový kanál so šírkou pásma až 50 THz. V súčasnosti sa jednovidové svetlovody používajú hlavne na oknách 2 až 5. [1]

1.1.2 Disperzia v optických vláknach

Disperzia vln je hlavnou príčinou skreslenia signálu. Je určený rozdielom šírky impulzu v polovici výšky medzi začiatkom a koncom vlákna. Disperzia určuje šírku prenášaného pásma a tým aj prenosovú rýchlosť. Existujú tri druhy disperzie: materiálová, vlnovodová a vidová. [1]

Materiálová disperzia

Príčinou materiálovej disperzie je frekvenčná závislosť indexu lomu, ktorá spôsobí frekvenčnú závislosť skupinovej a fázovej rýchlosti šírenia vlny vo vlákne.

Vlnovodová disperzia

Vlnovodovú disperziu spôsobuje zmena geometrie vidu, ktoré menia pozdĺžnu a fázovú rýchlosť šírenia. Vlnovodová disperzia spôsobuje tiež rozširovanie impulzov prenášaných svetlovodom. Kombinácia vlnovodovej a materiálovej disperzie sa nazýva chromatická disperzia.

Chromatická disperzia

Je spôsobená nelineárnou frekvenčnou závislosťou skupinového šírenia vidu v svetlovode. Šírka pásma je teda nepriamo úmerná šírke pásma zdroja žiarenia. Chromatickú disperziu je možné znížiť zúžením frekvenčného spektra. Pracovná frekvencia sa volí tak aby bola chromatická disperzia v strede prenášaného pásma nulová. [1]

Vidová disperzia

Okrem chromatickej disperzie existuje ešte vidová disperzia. Je hlavným činiteľom, ktorý obmedzuje šírku pásma pri mnohovidových svetlovodoch s homogénnym jadrom. Vyskytuje sa iba v prípade, keď je energia lúča rozdelená do viacerých vidov. Jednotlivé vidy sa šíria rozdielnou rýchlosťou. Vidovú disperziu je možné znížiť znížením počtu vidov, alebo vhodnou konštrukciou svetlovodu. Ideálne by bolo zníženie počtu vidov na jeden vid.

Dosiahnutie výborných parametrov nie je vždy najdôležitejšie pri konštrukcii. Zvyšuje sa cena vlákna a spájanie vlákien je zložitejšie.

1.2 Mnohovidové vlákno

Mnohovidové vlákno je vlákno s veľkým priemerom jadra, väčším ako 10 μm . Šírenie svetla vo vnútri vlákna je možné vďaka širokému jadru popísať geometrickou optikou. Ak má mnohovidové vlákno skokový profil indexu lomu, lúče svetla sú vedené pomocou totálneho odrazu. Minimálny uhol pre totálny odraz takzvaný medzný uhol je určený rozdielom indexu lomu jadra a plášťa.

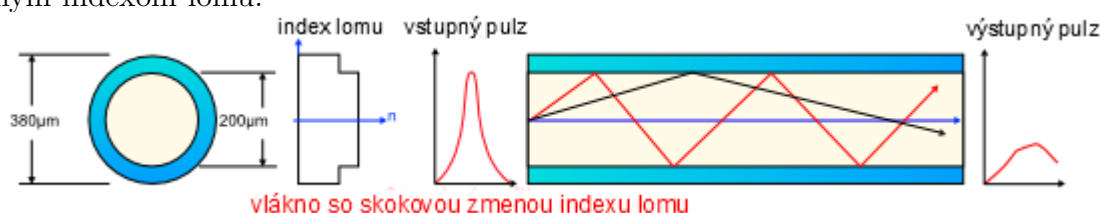
Mnohovidové vlákno sa používa v počítačových sieťach najčastejšie na komunikáciu na krátke vzdialenosti. Napríklad vo vnútri budovy alebo areálu. Zvyčajne sa mnohovidové vlákno používa pre hlavné dátové rozvody v budovách pre svoju vysokú rýchlosť prenosu. Časté je úplné nahradenie metalického vedenia optickým, kedy je optické pripojenie dovedené až ku klientským staniciam. Rýchlosť prenosu je typicky od 10 Mbit/s až do 10 Gbit/s. Použitie je do vzdialenosti 600 metrov.

Väčšia veľkosť jadra zjednodušuje spojenie a umožňuje použitie lacnejšej elektroniky ako sú LED diódy a laserové diódy VCSEL (vertical-cavity surface-emitting lasers) pracujúce na vlnovej dĺžke 850 nm. Jednovidové vlákno používané v telekomunikáciách pracuje na vlnových dĺžkách 1310 nm alebo 1550 nm a vyžaduje oveľa drahšie zdroje svetla.

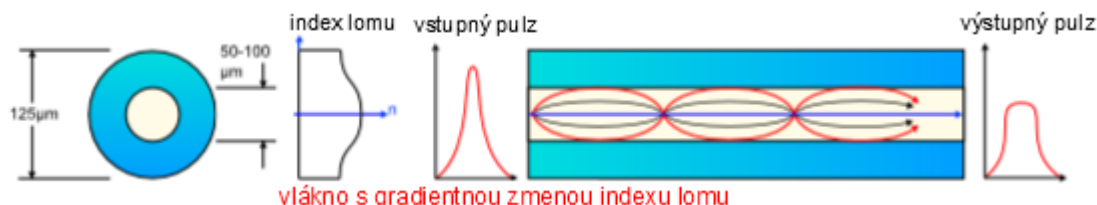
Oblúbené je použitie v technológii Ethernet. Známe štandardy používajúce mnohovidové vlákno sú Ethernet 100BASE-FX s rýchlosťou 100 Mbit/s s maximálnou vzdialenosťou 2 km, 1000BASE-SX s rýchlosťou 1 Gbit/s s maximálnou vzdialenosťou 600 m a 10GBASE-SR s rýchlosťou 10 Gbit/s na vzdialenosť 300 m. [3]

Mnohovidové vlákna sa delia na vlákna so skokovým indexom lomu a s gradient-

ným indexom lomu.



Obr. 1.3: Mnohovidové vlákno so skokovou zmenou indexu lomu [11]



Obr. 1.4: Mnohovidové vlákno s gradientnou zmenou indexu lomu [11]

1.2.1 Mnohovidové vlákno so skokovým indexom lomu

Tieto vlákna majú konštantný index lomu jadra a skokovú zmenu na rozhraní jadra a plášťa. Nazývajú sa aj skokovými svetlovodmi. Svetlo sa vo vlákne šíri na princípe totálneho odrazu priamkami. Výhoda je v jednoduchšej výrobe a manipulácii s takýmito vlákнами. Nevýhodou je vyšší útlm, disperzia a malá prenosová kapacita. Vlákna sa vyznačujú väčšími priermi jadra a plášťa. Bežný útlm je 5 - 20 dB/km, prenosová kapacita 60 Mbit/s. Použitie je hlavne pre malé vzdialenosti, to znamená použitie v lokálnych sieťach a v automatizácii. Šírenie svetla v mnohovidovom vlákne so skokovou zmenou indexu lomu je zobrazené na obrázku 1.3 .

1.2.2 Mnohovidové vlákno s gradientným indexom lomu

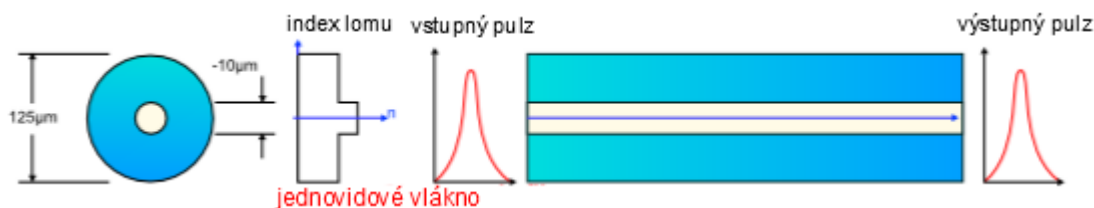
Tieto vlákna majú premenný index lomu v profile vlákna. Index lomu je spojitý premenný a dráha má tvar eliptickej alebo kruhovej špirály. Majú menší útlm ako vlákna so skokovým indexom lomu, typicky 2,5 - 8 dB/km. Bežná prenosová kapacita je 600 Mbit/s. Vyznačujú sa nízkou disperziou, zložitejšou výrobou a zložitejším spájaním vlákien. Použitie tohto typu vlákna je hlavne na kratšie vzdialenosti. Šírenie svetla v mnohovidovom vlákne s gradientnou zmenou indexu lomu je zobrazené na obrázku 1.4 .

1.3 Jednovidové vlákno

Jednovidové vlákna majú veľmi malý priemer jadra, menej ako 10 μm . Priemer jadra je teda rovný niekoľko málo násobku vlnovej dĺžky svetla. Vo vlákne sa šíri len jeden

vid v smere osi vlákna. Pre analýzu šírenia svetla vo vlákne nie je možné použiť geometrickú optiku. Šírenie svetla vo vlákne musí byť popísané ako elektromagnetická vlna podľa elektromagnetickej vlnovej rovnice. Elektromagnetická povaha svetla musí byť zohľadnená aj pri analýze chýb na vlákne.

Svetelná energia u jednoovidového vlákna nie je úplne uzavrená v jadre. Veľká časť energie je aj v obale okolo jadra. Bežné jednoovidové vlákna v telekomunikáciách majú priemer jadra okolo 8 - 10 μm . Spájanie vlákien je tak náročnejšie. Jednoovidové vlákna sú najčastejšie používané v chrbticových sieťach spolu s použitím vlnového multiplexu DWDM. Vykazujú veľmi dobré parametre optickej trasy, hlavne merný útlm. Merný útlm je typicky 0,35 dB/km pri 1300 nm a 0,2 dB/km pre 1550 nm. Preto sú vhodné na použitie do vzdialeností niekoľko desiatok kilometrov. Jednoovidové vlákna sa vyznačujú aj nízkou disperziou. Prenosová rýchlosť je typicky 10 Gbit/s. Najčastejšie sa riadi štandardizovaným doporučením ITU-T G.652. U jednoovidových vlákien sa vyskytuje iba chromatická a polarizačná vidová disperzia, vidová disperzia nie je prítomná. Vlákna sa vyrábajú z homogénnej skloviny. Pre budenie sa používajú laserové diódy.



Obr. 1.5: Šírenie svetla v jednoovidovom vlákne [11]

1.4 Najpoužívanéjšie jednoovidové vlákna podľa organizácie ITU-T

ITU-T je skratka organizácie International Electrotechnical Commission Technical Committee. Najpoužívanéjšie štandardy sú:

G.652

Je štandardné optické jednoovidové vlákno 9/125 μm . Označuje sa niekedy ako USF (Unshifted Fiber) podľa špecifikácie firmy Corning. Tieto vlákna sa nazývajú aj matched cladding(MC) pre typickú skokovú zmenu indexu lomu na rozhraní jadra a plášťa vlákna. Zvláštnu skupinu tvoria vlákna s vnoreným indexom lomu, ktoré majú index lomu plášťa v okolí jadra nižší ako v plášti optického vlákna, ktoré je vyrobené z čistého kremičitého skla bez prímiesí. Definuje 4 verzie (A,B,C,D). G.652C a G.652D majú znížený ZWP(Zero Water Peak) vrchol, ktorý umožňuje ich použitie v rozsahu vlnových dĺžok 1310 až 1550 nm. Podporujú CWDM prenos.

G.652C je na rozdiel od bežného G.652 vlákna možné používať v celom rozsahu vlnových dĺžok a využiť všetky dostupné prenosové pásma, vrátane pásma E - 1360 nm až 1460 nm. To v minulosti nebolo možné pre zvýšený útlm v tejto oblasti vplyvom iónov OH⁻.

G.652D je bežné jednovidové vlákno SSMF určené pre 10 Gbit/s a 40 Gbit/s systémy (pre zníženú disperziu PDM). Momentálne je to najpopulárnejšie optické vlákno. [1][4]

G.655

Definuje optické vlákno pracujúce v rozsahu vlnových dĺžok 1550 nm a 1625 nm s nenulovou disperziou NZ-DSF(Non Zero - Dispersion Shifted Fiber) v tejto oblasti. Tento typ optického vlákna sa používa v systémoch pre prenos na vysoké vzdialenosti použitím DWDM prenosu v okne 1530 nm až 1625 nm. Malá nenulová disperzia je potrebná na to, aby sa neprejavovali vedľajšie nelineárne efekty. [1][4]

G.656

Je optické vlákno určené na použitie v širokopásmových systémoch použitím DWDM a CWDM súčasne. Má posunutú nenulovú disperziu NZ-DSF(Non Zero - Dispersion Shifted Fiber). Pracuje v okne 1460 nm až 1625 nm. Vlákno je určené pre systémy vlnového multiplexu DWDM a CWDM. V pásme S umožňujú až 40 kanálov.

G.657

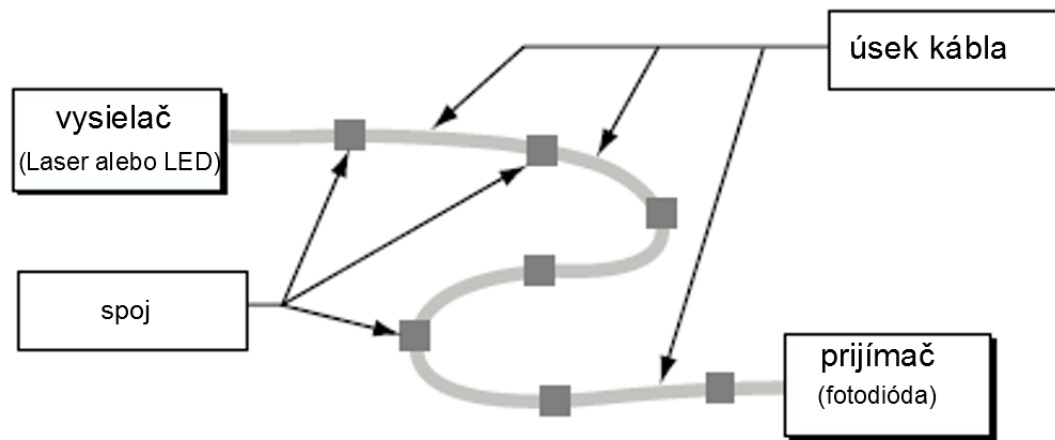
Definuje optické vlákno, ktoré vykazuje nízke hodnoty útlmu spôsobené ohybmi. Minimálny polomer je tu redukovaný na 5 až 15 mm(v závislosti na verzii). G.657A vlákno je kompatibilné s G.652 vláknami. G.657B verzie nie sú 100 % kompatibilné s ostatnými vláknami, ale majú unikátne mechanické charakteristiky vhodné pre väčšinu inštalácií. [1][4]

1.5 Komunikácia optickým vláknom

Komunikácia optickým vláknom je jednoduchá. Elektrický signál je skonvertovaný na svetlo, ktoré je prenesené cez optické vlákno do vzdialeného prijímača, kde je skonvertované znova na elektrický signál. Komunikácia optickým vláknom má veľa výhod vzhľadom na komunikáciu metalickým vedením. Signál môže byť poslaný na veľké vzdialenosti bez zosilnenia, nie sú tu žiadne problémy s interferenciou blízkyh elektrických polí, dátový tok je oveľa vyšší a samotné vlákno je oveľa ľahšie a menšie.

Hlavnou charakteristikou optického komunikačného systému je útlm optického signálu počas cesty vláknom. Svetlo je utlmené vo vlákne Rayleighovým rozptylom.

Časť svetla je absorbovaná vláknom a časť svetla uniká z vlákna pre nedokonalosti vo vlákne alebo pre nadmerné ohýbanie. [2]



Obr. 1.6: Komunikácia optickým vláknom [2]

2 MERANIE ÚTLMU OPTICKÝCH TRÁS

Merný útlm prenosového média je možné vyjadriť ako podiel výkonu v dvoch vzdialenostiach delený dĺžkou prenosového média.

$$\alpha = 10 \log(P_1/P_2)/L$$

α - merný útlm

P_1 - výkon v bode 1 (napríklad na vstupe vlákna)

P_2 - výkon v bode 2 (napríklad na výstupe vlákna)

L - vzdialenosť medzi bodmi 1 a 2 (dĺžka vlákna)

Existujú dve základné metódy na meranie útlmu optických trás. Je to priama metóda a nepriama metóda.

Priama metóda je referenčná metóda merania útlmu, ktorá porovnáva výkon optického žiarenia v dvoch bodoch trasy. Je tak možné určiť útlm trasy vzťahnutý na dĺžku trasy. [10]

Priama metóda má dve varianty:

- metóda dvoch dĺžok
- metóda vložených strát

Nepriama metóda je metóda OTDR, ktorá meria spätný rozptyl žiarenia.

2.1 Metóda dvoch dĺžok

Pri použití tejto metódy sa meria útlm vlákna v dvoch rôznych dĺžkach pri rovnakom vstupnom výkone.

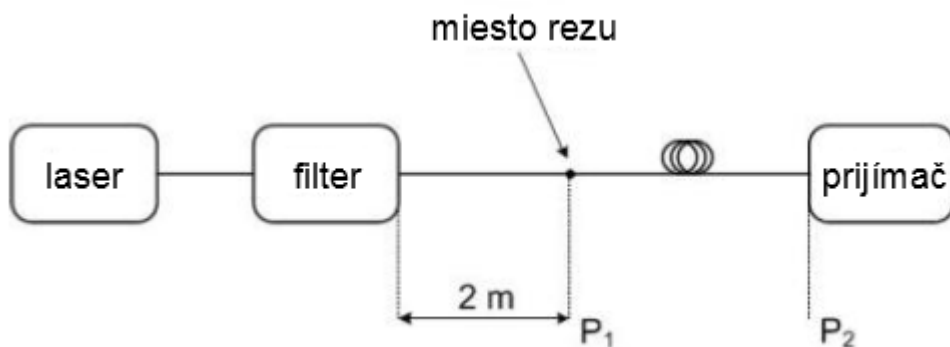
Medzi zdrojom svetla a merač optického žiarenia sa pripojí merané vlákno so známou dĺžkou. Zmeria sa výkon na výstupe, výkon P_2 . Optické vlákno sa zlomí približne 2 m od počiatku. Medzi zdrojom svetla a meračom optického výkonu bude len 2 m vlákna. Zmeria sa optický výkon na konci 2 m úseku vlákna, P_1 .

Merný útlm sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\alpha = 10 \log(P_1/P_2)/L$$

Metóda sa používa hlavne v laboratórnych podmienkach na testovanie výrobných vlákien. Presnosť metódy je približne 0,1 dB. Pre takto vysokú presnosť sa používa ako referenčná metóda. Nevýhoda metódy je deštruktívnosť nutnosť prí-

stupu k obom koncom vlákna. Stratené budú 2 m vlákna. [10]



Obr. 2.1: Meranie útlmu metódou dvoch dĺžok [10]

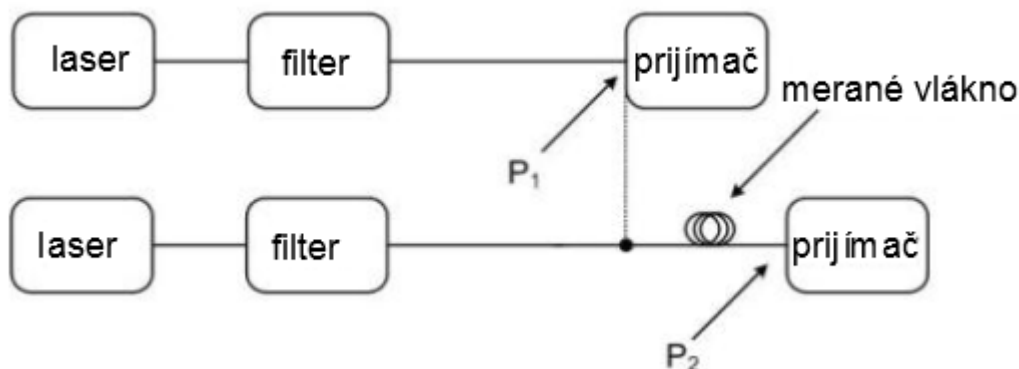
2.2 Metóda vložených strát

Metóda sa používa na meranie častí optickej trasy (konektory, spojky) a pre meranie celkového útlmu optickej trasy.

Ako prvý krok sa vykoná kalibrácia meracej sústavy. Optický zdroj sa prepojí s meračom optického výkonu referenčným káblom. Meraním optického výkonu získame hodnotu referenčného výkonu P_1 . Merané vlákno sa následne zapojí medzi optický zdroj a merač optického výkonu. Zmeria sa hodnota P_2 . Zmena výkonu predstavuje útlm na danej dĺžke vlákna.

Pre dosiahnutie vyššej presnosti výsledku sa meranie vykonáva v dvoch smeroch prenosu. Útlm sa potom stanoví ako priemer útlmu pre oba smery.

Metóda je nedeštruktívna, ale menej presná ako metóda dvoch dĺžok. Presnosť je približne 0,3 dB. Na presnosť vplýva hlavne čistota a úprava čiel, kvalita použitého konektora. [10]



Obr. 2.2: Meranie útlmu metódou vložených strát [10]

3 OTDR (OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER)

OTDR je optoelektronické zariadenie používané na charakteristiku optického vlákna. Je ekvivalentom elektronického TDR reflektometra, ktorý sa používa na metalických vedeniach.

Optický reflektometer využíva metódu spätného rozptylu, ktorá je nepriamou a nedeštruktívnou metódou založenou na meraní Rayleighovho rozptylu. Výstupom merania je graf, ktorý zobrazuje závislosť útlmu na dĺžke trasy.



Obr. 3.1: OTDR značky EXFO [8]

Trasa merania môže byť analyzovaná priamo na mieste merania. Takúto dokumentáciu meraného systému je možné uložiť ako počítačový súbor pre neskoršiu analýzu a porovnávanie alebo hneď vytlačiť. Skúsenejší operátor vie presne lokalizovať koniec vlákna, polohu a útlm optických spojok a celkový útlm vlákna. Väčšina moderných OTDR prístrojov poskytuje automatickú analýzu surových dát z trasy a eliminuje tak potrebu skúsenejšieho odborníka, ktorý bude manuálne analyzovať úseky trasy.

OTDR sa používa hlavne pri testovaní integrity optických káblov. Je ním možné overiť útlm optického spoja, odmerať dĺžky vlákien a hľadať chyby na trase. OTDR sa tiež používa aj na vytvorenie referenčného obrazu optického kábla, keď je prvýkrát nainštalovaný. Neskôr je možné robiť porovnania medzi referenčným obrazom trasy a obrazom trasy nameraným, ak sa vyskytne nejaký problém. Analýza OTDR trasy

je vždy jednoduchšia, ako je zachovaná dokumentácia originálnej trasy, ktorá bola vytvorená keď bol kábel nainštalovaný.

Prístroje OTDR sú najefektívnejšie pri testovaní dlhých káblov alebo káblových spojení so spojkami. Dlhými káblami sa myslia káble, ktoré majú viac ako 250 metrov.

OTDR by sa nemali používať na meranie vložených strát v optickom kábli. Meranie priamou metódou pomocou merača optického výkonu je v tomto prípade presnejšie. OTDR prístroje v podstate zobrazujú, kde sú káble nadpájané a potvrdzujú kvalitu vlákien, spojení a zvarov.

3.1 Ako pracuje

Metóda OTDR je založená na detekcii spätne rozptýlených optických pulzov, ktoré merací prístroj vysiela do optickej trasy. Reflektometer OTDR pracujúci v pulznom režime vysiela sériu krátkych optických pulzov s dĺžkou približne niekoľko stoviek nanosekúnd až niekoľko desiatok mikrosekúnd. V dôsledku Rayleighovho rozptylu na nehomogenitách v jadre a v dôsledku rozptylov na optickej trase sa časť optického výkonu odráža späť k začiatku pripojenej trasy. Vyhodnotenie spätne rozptýleného žiarenia umožňuje presný odhad útlmových vlastností meranej trasy.

Meraným javom je tedy úroveň výkonu spätne rozptýleného žiarenia ako funkcia času šírenia pulzov na miesto odrazu a späť.

Prijímaný, spätne odrazený výkon je smerovaný väzobným článkom k lavínovej fotodióde, kde je detekovaný a prevedený na elektrický signál. Fotodióda má schopnosť detekcie veľmi slabých výkonov. Energia detekovaného pulzu je integrovaná v DSP jednotke s niekoľko ďalšími optickými pulzami, ktoré sú priemerované za účelom získania konečného výsledku. Na základe úrovne výkonu spätného rozptylu je možné odhadnúť úroveň signálu v meranom bode trasy a celkový útlm vybraného úseku trasy. Na základe znalosti času šírenia pulzu a indexu lomu použitých vlákien je možné spočítať rýchlosť pulzu a vzdialenosť miesta odrazu od počiatku trasy.

Výsledkom, ktorý je zobrazený na displeji reflektometru je priebeh útlmu trasy ako funkcia vzdialenosti od počiatku trasy. DSP jednotka spätne prepočítava spätne detekovaný výkon na útlm v dB.

Princíp je podobný elektronickému TDR reflektometru, kedy TDR reflektometer meria odrazy spôsobené zmenami impedancie kábla počas merania.

3.1.1 Rayleighov rozptyl



Obr. 3.2: Schematické zobrazenie Rayleighovho rozptylu [5]

Keď je pulz svetla poslaný do vlákna, časť pulzu ide do mikroskopických častí (nazývané dopanty) v skle a rozptýli sa do všetkých smerov. Toto sa nazýva Rayleighov rozptyl. Časť svetla, približne 0,0001 % je rozptýlená späť v opačnom smere pulzu a nazýva sa spätný rozptyl. Vzhľadom na to, že dopanty v optickom vlákne sú rovnomerne distribuované vo vlákne, rozptyl sa vyskytuje po celej dĺžke vlákna.

Rayleighov rozptyl je hlavnou príčinou útlmu vo vlákne. Dlhšie vlnové dĺžky svetla vykazujú menší rozptyl ako kratšie vlnové dĺžky. Napríklad pri použití svetla 1550 nm je útlm 0,2 až 0,3 dB na kilometer. Pri použití svetla 850 nm je útlm 4,0 až 6,0 dB/Km. Vyššia hustota dopantov vo vlákne tiež vytvorí viac rozptylu a preto vyšší útlm na kilometer. OTDR môže merať hladiny spätného rozptylu veľmi presne a používa ich na detekciu malých variácií v charakteristike vlákna v každom bode jeho dĺžky.

Rayleighov rozptyl je možné pozorovať pri svietení svetidlom do hmly v noci. Kužeľ svetla sa rozptýli vlhkosťou vzduchu, časticami hmly. Hustá hmla rozptýli viac svetla, pretože je v nej veľa drobných častíc. Kužeľ svetla môže cestovať ďaleko, ak hmla nie je veľmi hustá. V hustej hmle je svetlo hneď utlmené vzhľadom na rozptyl. Častice dopantov vo vlákne fungujú ako častice vody v hmle, vracajú malé množstvo svetla späť k zdroju.

OTDR meria iba množstvo rozptýleného svetla, nie množstvo preneseného svetla. Je tu korelácia medzi levelom rozptylu a množstvom preneseného svetla pulzom. Podiel rozptýleného svetla a preneseného svetla je známy ako rozptylový koeficient. Je to fixné percento preneseného svetla.

Keď ide senzor do saturácie vplyvom vysokého výkonu odrazu, je detekovaný odraz. [2]

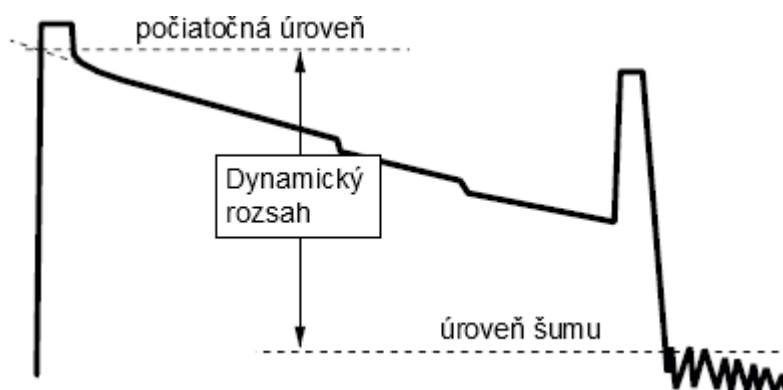
3.1.2 Fresnelov odraz

Ak pri cestovaní materiálom ako je napríklad optické vlákno lúč svetla narazí na zmenu hustoty v materiáli (napríklad vzduchová bublina), časť svetla až 4 % sa odrazí späť smerom k zdroju svetla. Ostatná časť svetla pokračuje vláknom ďalej. Podobné náhle zmeny v hustote sa vyskytujú na konci vlákien, zlomoch a niekedy

aj v mieste zvarov. Množstvo odrazeného svetla závisí na veľkosti zmeny v materiálovej hustote a na uhle, pod ktorým svetlo narazí na rozhranie medzi dvoma materiálmi. Tento typ odrazeného svetla sa nazýva Fresnelov odraz. Používa sa prístrojom OTDR na určenie polohy porúch vo vlákne. [2]

3.2 Špecifikácie OTDR

3.2.1 Dynamický rozsah



Obr. 3.3: Dynamický rozsah [2]

Dynamický rozsah prístroja OTDR určuje, ako dlhé vlákno môže byť zmerané. Udáva sa v dB, je to maximálny útlm trasy, ktorý je možné zmerať. Vyššie hodnoty vo všeobecnosti znamenajú možnosť merania väčších dĺžok trasy. Typický rozsah je 20 - 50 dB. Testovací pulz musí byť dosť silný na to, aby sa dostal až na koniec vlákna a senzor musí byť dostatočne dobrý na to, aby dokázal zmerať najslabšie spätné odrazy, ktoré prichádzajú z konca trasy. Kombinácia výkonu pulzu laserového zdroja a citlivosť senzora určuje dynamický rozsah. Veľmi silný zdroj a citlivý senzor vytvorí vysoký dynamický rozsah prístroja. Prístroj so slabším zdrojom a priemerným senzorom bude mať nízky dynamický rozsah.

Existuje veľa metód na určenie dynamického rozsahu. Najvýznamnejšie sú „98 % Noise Level“, „SNR = 1“ a „Fresnel Detection“.

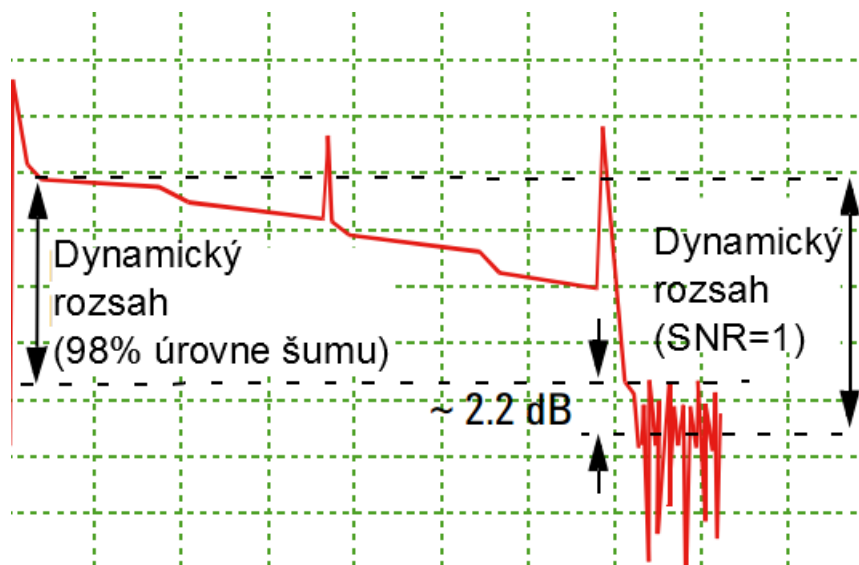
Dynamický rozsah prístroja OTDR metódou „98 % Noise Level“ (98 % úrovne šumu) je určený rozdielom medzi výkonom na počiatku trasy (initial backscatter level) a výkonom na hornej úrovni šumu (upper level of noise floor). Horná úroveň šumu popisuje bod, v ktorom sa výkon spätného odrazu začína miešať so šumom prístroja. Táto metóda je odporúčaná viacerými štandardizačnými organizáciami.

Ďalšou bežnou metódou je „SNR = 1“ (odstup šumu od signálu rovný 1). Je podobná metóde „98 % Noise Level“, ale produkuje dynamický rozsah vyšší o 2 dB. Pre odčítanie dynamického rozsahu sa ako druhý bod používa bod, v ktorom sa

výkon spätného rozptylu rovná vnútornému šumu prístroja. To znamená, že na konci trasy nie je možné jasne rozlíšiť detaily v trase.

Tretia obľúbená metóda je „Fresnel Detection“ (Fresnelová detekcia), ktorá môže zvýšiť dynamický rozsah až o 10 dB. Druhý bod pre odčítavanie dynamického rozsahu sa tu určuje ako bod, v ktorom je detekovaný Fresnelov odraz na konci vlákna nad úrovňou šumu. [2]

Obrázok 3.4 ukazuje meranie dynamického rozsahu metódou „98 % Noise Level“ a „SNR = 1“.



Obr. 3.4: Metódy merania dynamického rozsahu [6]

Vhodne zvolený dynamický rozsah bude produkovať jasné a presné určenie výkonu spätného odrazu na vzdialenom konci vlákna. Nedostatočný dynamický rozsah bude produkovať zašumený graf na konci vlákna. Dátové body, ktoré vytvárajú graf nesformujú hladkú krivku, ale šum. Je veľmi ťažké rozlíšiť detaily v zašumenej trase. Rozkmit šumu môže byť vyšší ako útlm nejakej udalosti na trase.

Zvýšenie totálneho výkonu pulzu môže byť dosiahnuté dvoma spôsobmi: zvýšenie výkonu poslaného lúča, alebo zvýšenie šírky pulzu. Obe možnosti majú svoje limity. Laserová dióda má prirodzené maximum výkonu, ktoré nemôže byť prekročené. Vyšší výkon lasera znamená tiež nižšiu životnosť tohto komponentu. Laser sa môže rýchlejšie vypáliť. So zvyšujúcou sa šírkou pulzu sa mení veľkosť mŕtvej zóny. Väčšie šírky pulzu vytvárajú dlhšie mŕtve zóny.

Tiež senzory majú prirodzený limit v schopnosti merania nízkych výkonov svetla. V istom bode, elektrický signál poslaný senzorom sa stratí v elektrickom šume elektrických obvodov a kontrolér nedokáže rozlíšiť medzi šumom a signálom senzoru. Elektrické tienenie vnútorných obvodov OTDR je preto nutnosťou na zamedzenie efektov okolitého elektrického šumu. Navyše ak senzor pracuje na hranici svojho rozsahu, jeho presnosť je znížená. Na zvýšenie presnosti pri nízkych výkonoch svetla

OTDR prístroj používa priemerovacie techniky na tisícoch opakovaných pulzov. Použitie priemerovania zvýši presnosť merania a preto zlepši dynamický rozsah.

3.2.2 Mŕtva zóna

Mŕtva zóna označuje oblasť na trase vlákna, ktorá nasleduje po Fresnelovom odraze v ktorom odraz zakrýva spätný rozptyl.

OTDR senzor je navrhnutý na meranie nízkych výkonov spätného rozptylu svetla z vlákna a oslepí sa, keď nastane Fresnelov odraz s výrazne vyšším výkonom. Vysoký výkon odrazu saturuje senzor a nie je tak schopný merať nízke výkony spätných odrazov, ktoré nasledujú okamžite po udalosti odrazu. Tento slepý okamih trvá minimálne tak dlho, ako trvanie pulzu. Čas mŕtvej zóny obsahuje trvanie odrazu plus obnovovací čas senzora pre znovu prispôsobenie na jeho maximálnu citlivosť. Vysokokvalitné senzory sa zotavujú rýchlejšie ako lacnejšie a preto dosahujú kratšie mŕtve zóny.

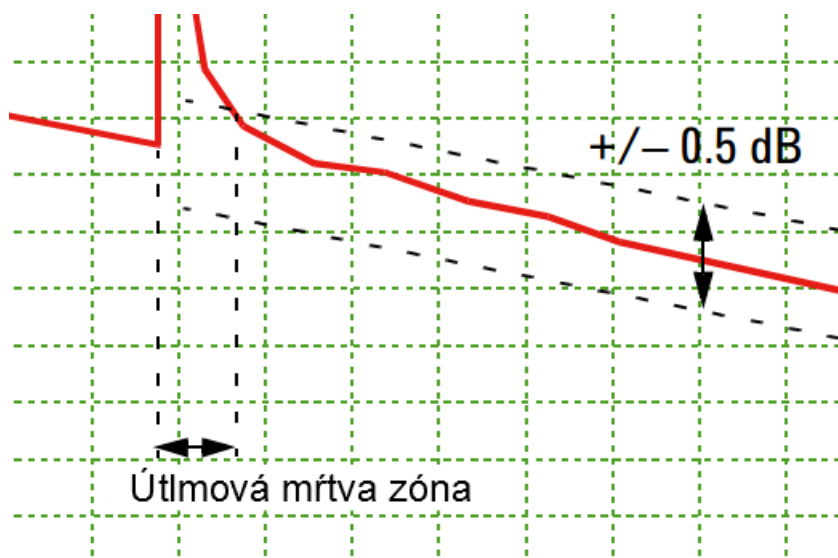
Mŕtva zóna závisí na šírke pulzu. Môže tak byť zmenšená znížením šírky pulzu. Zníženie šírky pulzu ale znižuje dynamický rozsah. Medzi týmito charakteristikami musí byť spravený kompromis. Užívateľ si pri meraní musí vybrať šírku pulzu v závislosti na tom, či je pre neho viac dôležité vidieť viac detailov na trase s krátkou mŕtvou zónou, alebo vidieť ďalej na optickej trase. Dôležité je zvoliť čo najväčší dynamický rozsah s krátkou šírkou pulzu. Meranie je možné vykonať s rôznymi nastaveniami šírky pulzu a z výsledkov si vybrať tie, ktoré technikovi najviac vyhovujú.

V každom meraní sa nachádza minimálne jedna mŕtva zóna. Predstavuje odraz v mieste pripojenia vlákna do prístroja. To znamená, že tu je úsek na začiatku vlákna, ktorý nie je možné premerať. Tento úsek závisí od šírky pulzu. Typické šírky pulzu v OTDR prístrojoch sú v rozsahu 3 ns až 20000 ns. Nemerateľný úsek tak môže byť v rozsahu 0,6 metra až 1000 metrov. Ak je potrebné premerať blízky koniec vlákna, je nutné nastaviť najnižšiu možnú šírku pulzu.

Rozlišujú sa dva typy mŕtvych zón: mŕtva zóna udalosti(event dead zone) a útlmová mŕtva zóna(attenuation dead zone).

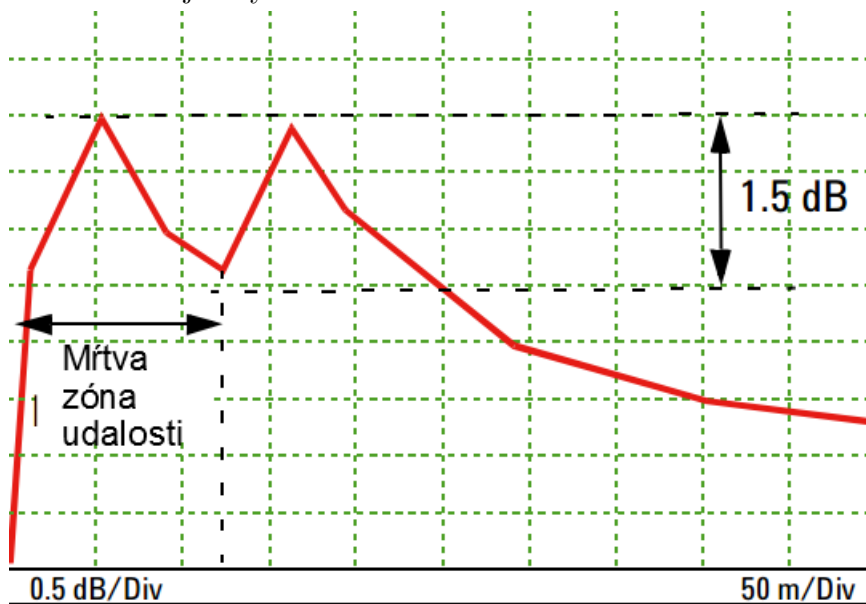
Útlmová mŕtva zóna(attenuation dead zone) je vzdialenosť od nábežnej hrany udalosti odrazu po bod, kedy sa senzor zotaví a dokáže merať spätný rozptyl na vlákne. Nábežná hrana je jednoducho rozoznateľná. Zložitejšia je určiť, kedy sa senzor zotaví. Veľa výrobcov OTDR prístrojov vkladá $\pm 0,5$ dB obálku okolo bodov za odrazom. Mŕtva zóna končí v bode, kde spätný rozptyl zostane vrámci tejto tolerančnej obálky.

[2]



Obr. 3.5: Útlmová mŕtva zóna [6]

Mŕtva zóna udalosti(event dead zone) je minimálna vzdialenosť medzi dvoma udalosťami rovnakého typu, ktorá je potrebná na to, aby boli udalosti rozlíšené. Napríklad, ak sú dva konektory 2 metre od seba, vidieť dva vrcholy odrazov a pokles medzi nimi. Pokles indikuje, že sú tu skutočne dva odrazy z dvoch odlišných udalostí. Keď sú udalosti príliš blízko, pokles nie je viditeľný a nie je možné tieto udalosti rozlíšiť. Detekcia mŕvej zóny udalosti závisí čisto na nastavení.



Obr. 3.6: Mŕtva zóna udalosti [6]

3.2.3 Rozlíšenie

Rozlišujú sa dva druhy rozlíšenia: útlmové rozlíšenie(loss resolution) a úsekové rozlíšenie(spatial resolution).

Útlmové rozlíšenie(loss resolution) je schopnosť senzora rozlíšiť medzi dvoma úrovňami výkonu, ktorý prijme. Väčšina OTDR sensorov môže detekovať rozdiely 1/100 dB alebo 1/1000 dB v pri meraní spätného rozptylu. Táto špecifikácia nesmie byť mýlená s presnosťou senzora(level accuracy), ktorá je diskutovaná v ďalších odsekoch.

Úsekové rozlíšenie(spatial resolution) určuje, ako ďaleko sú od seba dátové body v čase(vo vzdialenosti). Vysoké rozlíšenie je typicky 0,5 metra a nízke rozlíšenie je od 4 do 16 metrov medzi meranými bodmi. Kontrolér v prístroji vzorkuje signál zo senzora v pravidelných časových intervaloch odpovedajúcich nastavenému rozlíšeniu a meria dátové body. Keď vzorkuje veľmi často, dátové body budú umiestnené veľmi blízko pri sebe a OTDR vie detekovať udalosti vo vlákne, ktoré sú blízko pri sebe. Schopnosť OTDR lokalizovať koniec vlákna je ovplyvnený úsekovým rozlíšením. Keď prístroj získa dátový bod každých 8 metrov, dokáže lokalizovať koniec vlákna vrámci +/-8 metrov.

Prístroj zobrazuje trasu ako čiaru, ktorá spája dátové body a umožňuje umiestniť kurzor aj medzi dátovými bodmi. Dátové body sú interpolované a zobrazované rozlíšenie je lepšie ako úsekové rozlíšenie. Na displeji je dokonca možné dosiahnuť zobrazovacie rozlíšenie aj niekoľko centimetrov pri nastavení kroku kurzoru na tak nízku vzdialenosť. Je to ale iba zobrazovacie rozlíšenie, nie to, s ktorým prístroj meria. [2]

3.2.4 Presnosť senzora

Presnosť OTDR senzora je meraná rovnakým spôsobom ako presnosť optických meračov výkonu a fotodetektorov podobného druhu. Elektrický výstup optického senzora je veľmi slabý. Z toho dôvodu sa na zosilnenie signálu používajú elektrické zosilovače. Elektrický zosilovač so sebou prináša isté skreslenie v signále. Vysokokvalitné zosilovače sú schopné zvýšiť slabé aj silné signály o rovnakú úroveň. Inými slovami sa dá povedať, že majú lineárnu odozvu na vstup v pracovnom rozsahu. Menej kvalitné zosilovače prinášajú do zosilneného signálu skreslenie buď pri slabých alebo silných vstupných signáloch. Sú nelineárne v extrémoch. Nelineárny senzor je nepresný. [2]

Presnosť optického senzoru sa udáva v absolútnych hodnotách ako (+/-) hodnota dB ako napríklad +/- 0,10 dB alebo v relatívnych hodnotách - percentách ako napr. 2 %. Pre popis linearity zosilovača a teda aj pre popis presnosti prístroja OTDR sa používa útlm v určitých rozsahoch merania ako napríklad +/- 0,10 dB v rozsahu 10 až 20 dB. Od prístrojov OTDR sa očakáva vysoká presnosť a stála presnosť v širokom rozsahu merania cez 40 dB. Problém s linearitou sa v prístroji OTDR prejaví, ak sa časť vlákna na grafe nezobrazí ako rovná úsečka, ale ako mierne ohnutá úsečka.

Linearita sa typicky nenachádza v katalógoch prístrojov.

Fresnelové odrazy sú všeobecne mimo meracieho rozsahu senzora a prípadná nelinearita ich zobrazenie neovplyvňuje. Avšak počas zotavovania sa nelinearita môže prejaviť ako veľmi strmé prechody z oblasti odrazu do oblasti spätného rozptylu. [2]

3.2.5 Presnosť merania dĺžky

Presnosť merania dĺžky(distance accuracy) závisí od troch komponentov: stabilita hodín(clock stability), rozstup dátových bodov(data point spacing) a neistota indexu lomu.

Hodinový obvod časuje pulzy vychádzajúce zo zariadenia a vzorkovacie intervaly. Presnosť hodín sa udáva v percentách, ktoré sa vzťahujú na zmeranú vzdialenosť. Ak je na príklad presnosť hodín udávaná ako 0,01 % a dĺžka meranej optickej trasy je 20000 m, absolútna presnosť merania je ± 2 metre. Ak hodiny bežia príliš rýchlo alebo príliš pomaly potom meranie času bude príliš pomalé alebo rýchle a zodpovedajúce meranie dĺžky bude kratšie alebo dlhšie ako aktuálna hodnota. [2]

Úsekové rozlíšenie (spatial resolution) tiež ovplyvňuje presnosť. OTDR meria vzdialenosť na základe zmeraných dátových bodov. Čím sú dátové body bližšie, je vyššia pravdepodobnosť že sa detekuje nejaká udalosť na vlákne.

Vzdialenosť v prístroji OTDR je počítaná z rýchlosti svetla vo vlákne. Rýchlosť svetla vo vlákne sa počíta delením rýchlosti svetla vo vákuu indexom lomu. To znamená, že nastaviteľná hodnota indexu lomu je kritická na presné meranie vzdialenosti. Ak je index lomu nastavený zle, vzdialenosť bude zlá. Avšak charakteristika vlákna sa môže meniť s dĺžkou, čo znamená malé zmeny indexu lomu, ktoré spôsobujú nepresnosti pri meraní. Táto neistota indexu lomu môže byť vrámci jedného vlákna, ale stáva sa aj že ak sú dve vlákna spojené dokopy, každé má mierne odlišný index lomu. Môže to nastať, ak dve vlákna sú od iného výrobcu a každý používa mierne odlišný materiál. Najvhodnejšie je nastaviť index lomu odporúčaný výrobcom vlákna pre daný typ vlákna a vlnovú dĺžku. [2]

3.2.6 Vlnová dĺžka

Optické vlákno sa bežne testuje len na troch vlnových dĺžkach: 850 nm, 1300 nm a 1550 nm. Multivídnové vlákna pracujú na vlnových dĺžkach 850 nm a 1300 nm. Jednovídnové vlákna pracujú len na 1300 nm a 1550 nm vlnových dĺžkach.

Vlnová dĺžka, ktorú používa OTDR sa udáva ako hlavná vlnová dĺžka a šírka čiary (linewidth). Šírka čiary udáva rozsah vlnových dĺžok akolo hlavnej vlnovej dĺžky laserového zdroja. Napríklad laser s hlavnou vlnovou dĺžkou 1300 nm a šírkou čiary 20 nm bude obsahovať vlnové dĺžky od 1290 nm do 1310 nm. Lasery s úzkou

linewidth sú drahšie ako tie so širokou linewidth. Hlavné vlnové dĺžky sa tiež udávajú aj spolu s nejakou toleranciou ako napríklad ± 30 nm. Špecifikácia lasera môže byť udávaná ako 1310 nm ± 30 nm, linewidth 20 nm. Hlavná vlnová dĺžka sa v tomto prípade môže nachádzať hocikde v rozsahu 1280 nm až 1340 nm . Rozsah vlnových dĺžok, ktoré obsahuje laser je 1270 nm až 1350 nm.

Útlm vo vlákne je závislý na vlnovej dĺžke. Dôležité je testovať vlákno na rovnakej vlnovej dĺžke, na ktorej bude pracovať v sieti. Optické zdroje sú vo všeobecnosti špecifikované iba jedným číslom, napríklad 850, 1300, 1550. Hlavná vlnová dĺžka a šírka čiary nie je vždy jasne uvedená. Ak je trasa testovaná na jednej vlnovej dĺžke, napríklad 1320 nm a systém bude pracovať na 1280 nm, testovací signál bude utlmený trochu inak ako prevádzkový signál v sieti. Pri ďalekých trasách to môže viesť k nečakaným problémom.

3.3 Parametre merania

Pri meraní je potrebné nastaviť pár parametrov na dosiahnutie čo najlepších výsledkov. Patria medzi ne dĺžkový rozsah, rozlíšenie, šírka pulzu a priemerovanie.

Dĺžkový rozsah

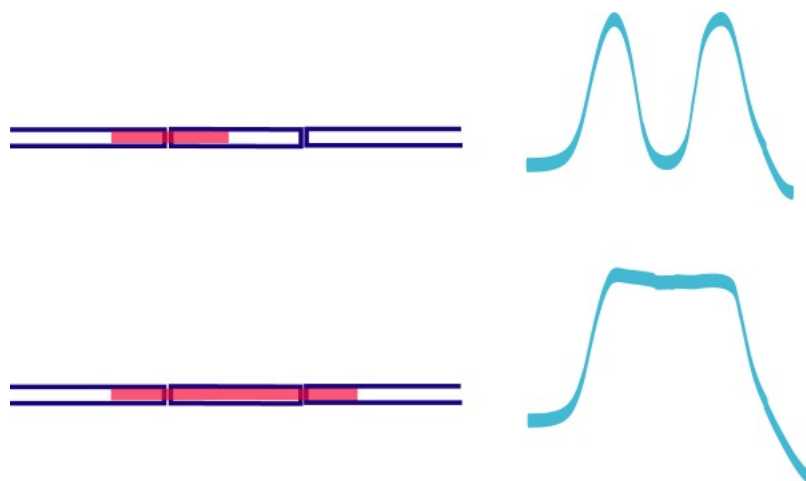
Dĺžkový rozsah je tiež známy ako rozsah zobrazenia. Limituje dĺžku vlákna, ktoré bude zobrazené na obrazovke. Rozsah musí byť približne o 25 % dlhší ako testované vlákno. Rozsah ovplyvňuje presnosť testu a čas testovania.

Rozlíšenie

Rozlíšenie predstavuje odstup dvoch dátových bodov. Vysoké rozlíšenia (bližšie dátové body) poskytnú viac detailov o vlákne, ale test bude trvať dlhšie ako na nízkom rozlíšení. Najlepšie rozlíšenie ponúkané väčšinou OTDR prístrojov je 0,2 metra medzi dátovými bodmi. Vysoké rozlíšenie môže poskytnúť presnejšiu lokalizáciu udalosti na trase. Rozlíšenie by sa nemalo mýliť s horizontálnou mierkou zobrazeného grafu. Tiež by sa nemalo mýliť s rozlíšením kurzora. Nemá to nič spoločné s odstupom dvoch bodov. Väčšina kurzorov môže byť umiestnená medzi dátové body a javiť sa, že môžu poskytnúť lepšie rozlíšenie ako rozlíšenie merania.

Šírka pulzu

Šírka optického pulzu je najdôležitejší parameter, pretože ovplyvňuje meraný dosah a presnosť výsledkov. Je to čas ako dlho trvá optický pulz. Typicky niekoľko mikrosekúnd. Šírkou pulzu je možné riadiť množstvo spätne rozptýleného svetla a veľkosť mŕtvej zóny. Správne nastavenie je kľúčové k dosiahnutiu správneho výsledku.



Obr. 3.7: Porovnanie detekcie dvoch spojok pri dvoch rôznych šírkach pulzu [5]

Horná časť obrázku 3.7 zobrazuje detekciu dvoch konektorov za sebou na optickej trase pri nastavenej krátkej šírke pulzu. Dolná časť obrázku ukazuje, ako sa pri dlhšom pulze dve udalosti na trase zjednotia do jednej, meranie tak nie je presné.

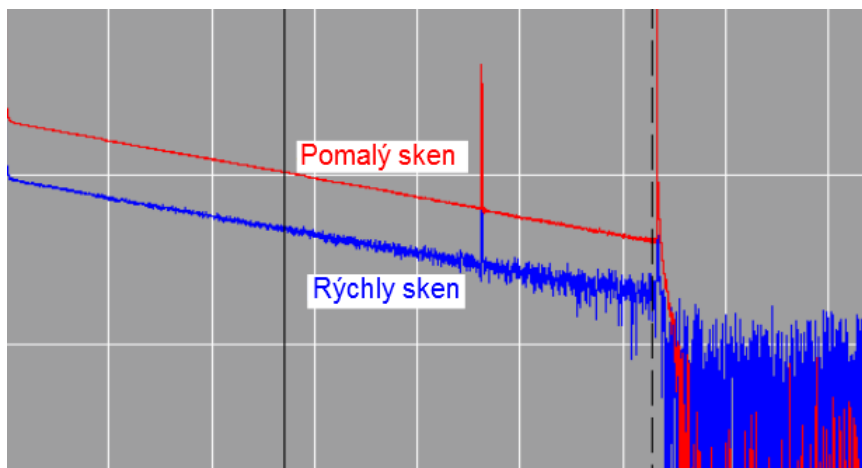
Keď je nastavená šírka pulzu krátka, výsledok je priemerovaný z väčšieho množstva vzorkov a výpočet vzdialenosti a útlmu v nejakom bode optickej trasy je presnejší. Polohu konektorov a zvaru je možné určiť s presnosťou niekoľko metrov. Nízka šírka nie je dobrá z pohľadu maximálnej vzdialenosti, na ktorej sa meranie vykonáva. Krátke pulzy majú nízku energiu a nedokážu sa dostať na veľké vzdialenosti. Ak je nastavená šírka pulzov príliš krátka, bude zmeraná len časť trasy. S rastúcou vzdialenosťou sa bude prejavovať podstatný vplyv šumu. Na vzdialenostiach väčších ako je kritická vzdialenosť (desiatky kilometrov) nebudú detekované žiadne udalosti, na displeji sa zobrazí iba šum.

Opačná situácia je, ak je dĺžka pulzu oveľa dlhšia ako optimálna (niekoľko desiatok mikrosekúnd). Dlhé pulzy dosvieta až na vzdialenosť niekoľko stoviek kilometrov. Je možné dosiahnuť až vzdialenosť 260 kilometrov. Väčší dosah ale znižuje presnosť merania. Konektory a zvary môžu byť zobrazené ako niekoľko kilometrov dlhé. Skutočná dĺžka zvarov a konektorov je ale minimálna. Ide teda o výraznú chybu merania. Priebeh aspoň neobsahuje šum.

Optimálne je meranie trasy s rôznou šírkou pulzu. Najskôr sa vykoná predbežné meranie na vysokú vzdialenosť s dlhým pulzom. Pre upresnenie merania sa použijú menšie šírky pulzu. Optimálny výsledok sa dosiahne kompromisom dosiahnuteľnej vzdialenosti a presnosti zobrazenia. Pre skutočne presné zmeranie udalosti na trase v značnej vzdialenosti je vhodné zmerať trasu z opačného konca trasy s krátkou šírkou pulzu.

V stručnosti teda platí, že čím je šírka pulzu väčšia, meraná vzdialenosť je väčšia a presnosť je menšia. Menšia šírka pulzu znamená menšiu vzdialenosť a väčšiu presnosť.

3.3.1 Priemerovanie



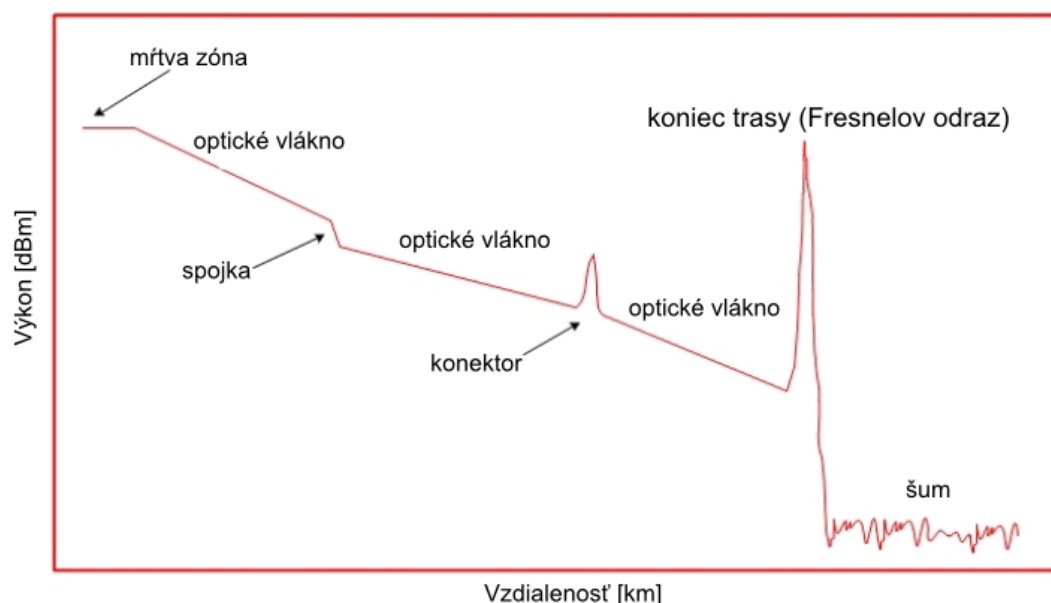
Obr. 3.8: Porovnanie Rýchly sken a Pomalý sken [7]

OTDR posiela svetelné pulzy opakovane do vlákna. Výsledky každého pulzu sú spriemerované. Toto redukuje náhodný šum prijímača a zlepšuje odstup signálu od šumu SNR. Dlhší priemerovací čas zvyšuje dynamický rozsah znížením šumu prístroja OTDR. V prípade, ak chceme merať väčšie vzdialenosti s vysokým rozlíšením, použitie krátkeho pulzu a dlhšieho priemerovania je najlepšia voľba. Nameraná trasa bez priemerovania by bola nejasná a zašumená. Dlhé priemerovanie sa označuje ako Slow Scan a krátke priemerovanie ako Fast Scan. [2]

V prípade, že test beží v reálnom čase, nie je tu veľmi malé, alebo takmer žiadne priemerovanie. So zobrazením v reálnom čase je možné pozorovať zmeny vyskytujúce sa vo vlákne hneď, ako nastanú. Zobrazenie v reálnom čase sa bežne používa pri meraní počas zvárania vlákna.

3.4 Meranie pomocou OTDR

3.4.1 Informácia o OTDR trase



Obr. 3.9: Optická trasa

Po tom, ako je optická trasa zoskenovaná, obrázok podobný ako na obrázku 3.9 sa zobrazí na displeji reflektometra. Z grafu je možné zistiť útlm úsekov optických vlákien, útlm zvarov, útlm konektorov, útlm zvarov, útlm celej trasy, dĺžku trasy. Je tiež možné zistiť rôzne poruchy na trase ako sú prerušené alebo ohnuté vlákna, opotrebené konektory, nekvalitné zvary. Ide o tzv. udalosti na trase.

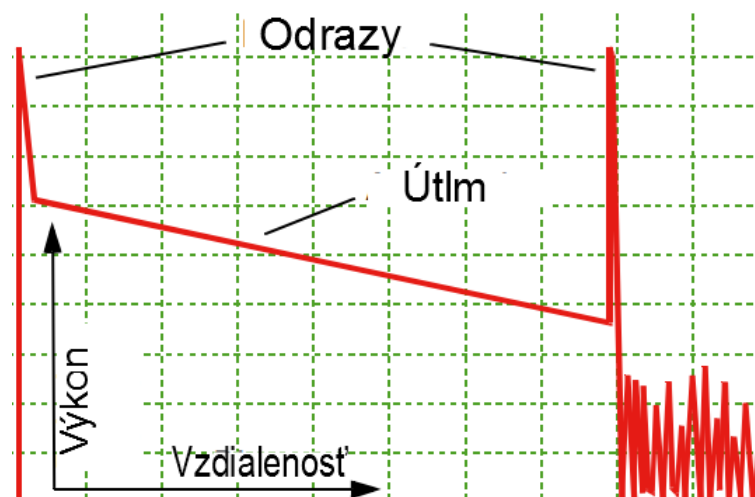
Meranie sa vykonáva typicky na vlnových dĺžkach 1310 nm alebo 1550 nm. Strmosť grafu je väčšia pri 1550 nm, pretože optické vlákno má pri 1550 nm vyšší útlm ako 1310 nm. Vlnová dĺžka neovplyvňuje presnosť merania.

3.4.2 Udalosti na trase

Na optickej trase sa nachádzajú dva hlavné typy udalostí: reflektívna a nereflektívna udalosť. Reflektívna udalosť predstavuje odraz, napríklad na konci optickej trasy. Nereflektívna udalosť predstavuje zmenu útlmu, napríklad na spoji typu zvar.

Samotné vlákno

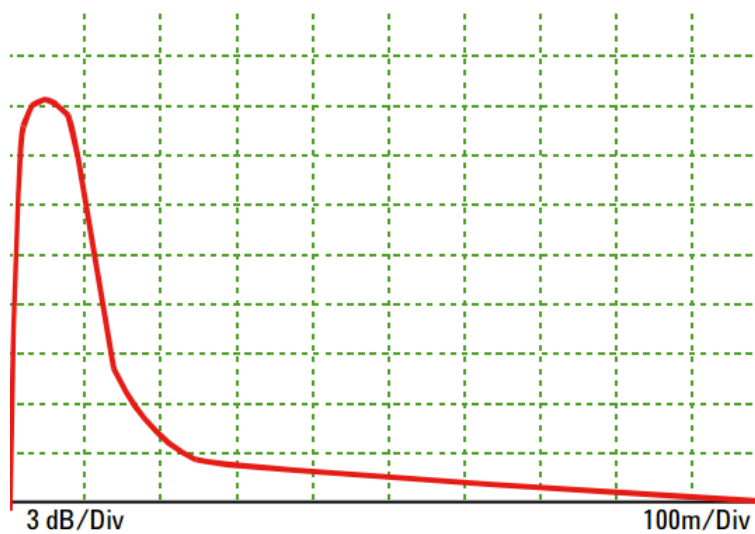
Samotné vlákno vytvorí nasledovnú trasu. Vlákno je zobrazené ako rovná čiara. Je ohraničené silnými odrazmi na začiatku a na konci.



Obr. 3.10: Samotné vlákno [6]

Začiatok vlákna

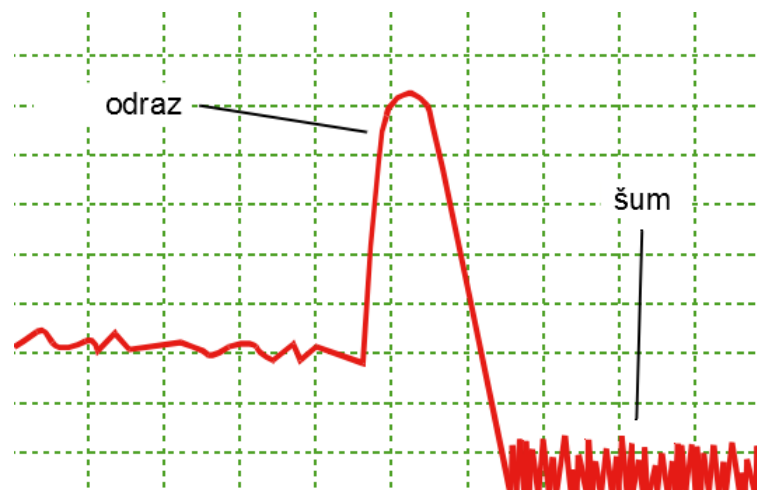
Pri použití bežného rovného konektora začiatok vlákna vždy ukáže silný odraz na začiatku konektora. Na obrázku 3.11 je zobrazený odraz na konektore v rozlíšení 100 m/div .



Obr. 3.11: Začiatok vlákna [6]

Koniec vlákna

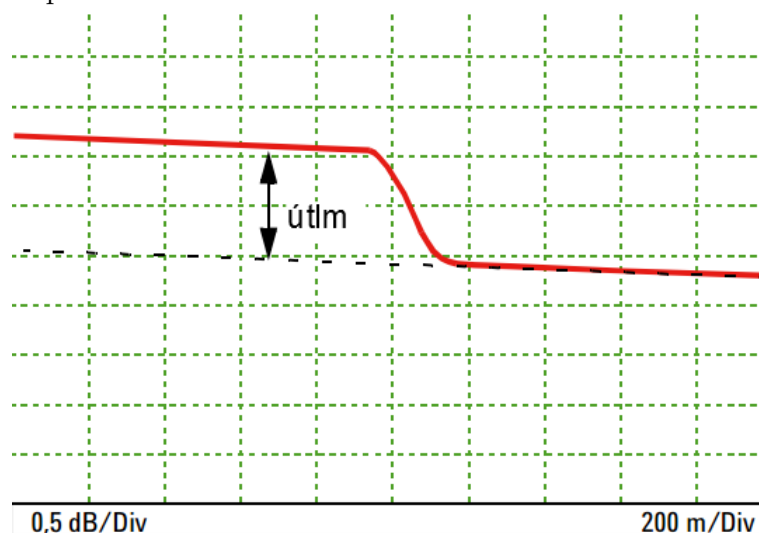
Vo väčšine prípadov vidieť silný odraz na konci vlákna za ktorým sa nachádza šum. Na obrázku 3.12 je odraz na konci vlákna v rozlíšení 100 m/div .



Obr. 3.12: Koniec vlákna [6]

Zvar

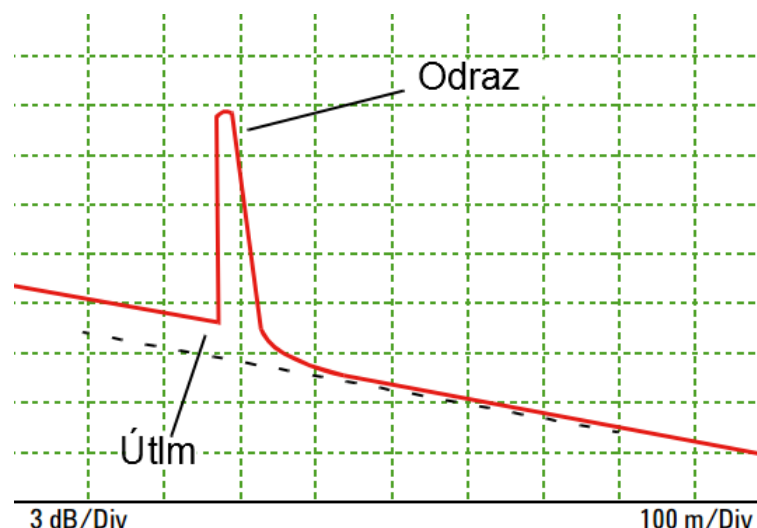
Zvar je neodrazová udalosť. Charakterizuje ho útlm. Moderné zvary sú tak kvalitné, že sú takmer nepozorovateľné.



Obr. 3.13: Zvar [6]

Konektor

Konektor spôsobuje odraz aj útlm.



Obr. 3.14: Odraz na konektore [6]

Rozdiel medzi zvarom a konektorom

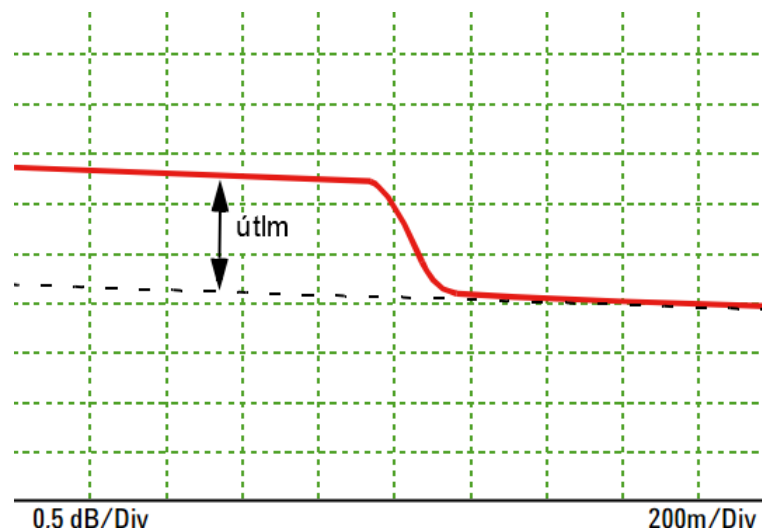
Konektory a zvary sú v grafe zobrazené rozdielne. Táto skutočnosť umožňuje jednoduché rozlíšenie oboch typov spojení.

Vo zvare sú dve vlákna pevne spojené. Pokles výkonu predstavuje len nehomogenita spojenia dvoch vlákien, na ktorom sa žiarenie tlmí.

Optický konektor je rozoberateľné spojenie. Optické žiarenie prechádza z jedného optického vlákna do druhého optického vlákna cez vzduchovú medzeru. Prechod svetla cez rozhranie vlákno/vzduch spôsobuje výrazný spätný rozptyl, ku ktorému prispieva odraz na čelnej strane druhého konektora. Pri meraní reflektometrom konektor vypadá v grafe ako krátkodobý nárast výkonu. K žiadnemu zosilneniu signálu ale nedôjde, prístroj to iba tak vyhodnotí. Pri naviazaní žiarenia do ďalšieho vlákna nasleduje prudký pokles výkonu. Útlm konektora je možné určiť ako rozdiel úrovne výkonu pred vstupom do vzduchovej medzery (úpäť špičky) a úrovne výkonu na začiatku ďalšieho vlákna.

Ohyb

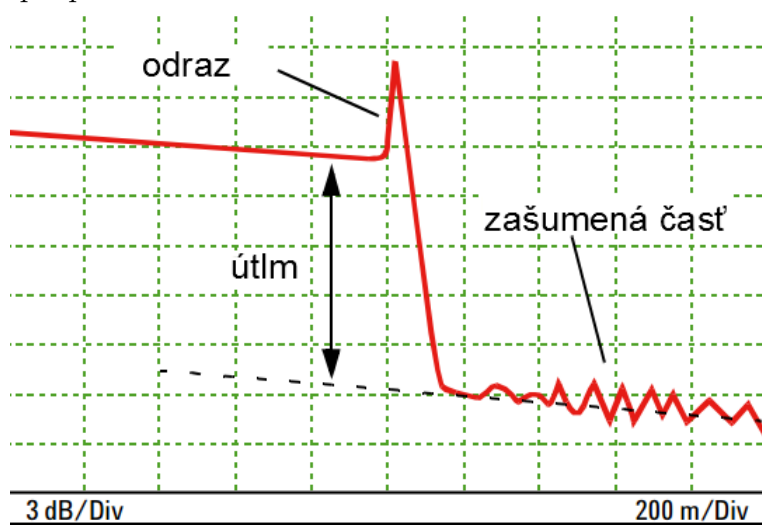
Ohyb charakterizuje útlm. Graf je veľmi podobný zvaru. Na rozlíšenie ohybu a zvaru je nutné si pozrieť dokumentáciu k sieti. Zvary by mali byť zdokumentované, ohyby nie sú zdokumentované. Pri meraní na väčšej vlnovej dĺžke ohyby ukážu vyšší útlm. Viacnásobným meraním na rôznych vlnových dĺžkach pomôže k rozoznaniu medzi ohybom a zvarom.



Obr. 3.15: Ohyb [6]

Prasknutie

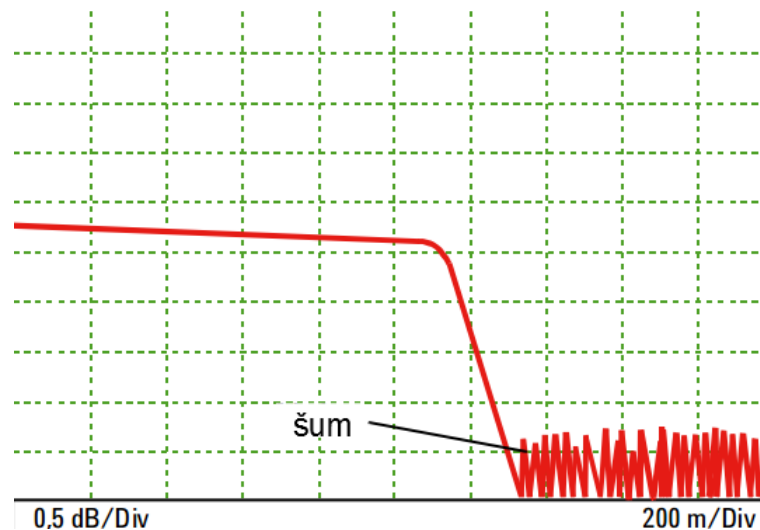
Ako prasknutie sa označuje čiastočne zničené vlákno, ktoré spôsobuje odraz a útlm. Graf sa môže pri pohnutí káblom zmeniť.



Obr. 3.16: Prasknutie [6]

Zlomené vlákno

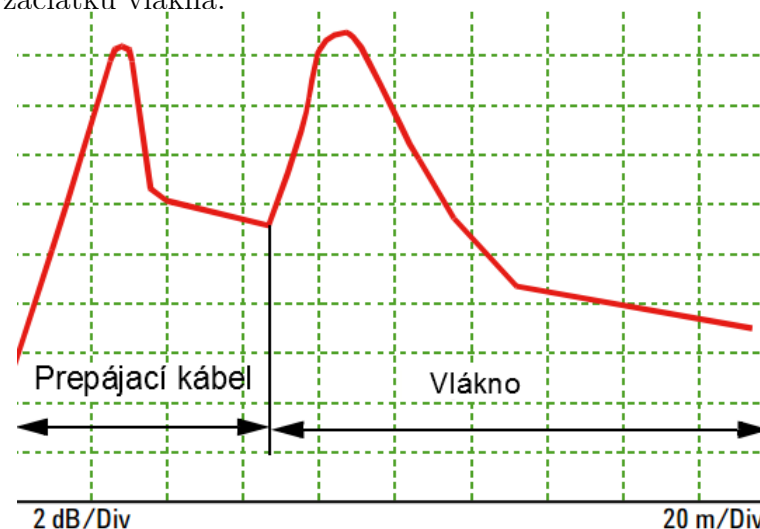
Ak je vlákno prerušené, alebo zlomené, nazýva sa to zlom. Stopa grafu v mieste zlomu klesne na úroveň šumu.



Obr. 3.17: Zlomené vlákno [6]

Prepájací kábel(patchcord)

Prepájací kábel sa používa na spojenie OTDR prístroja s vláknom počas testovania. Počiatočný odraz nezatienňuje začiatok vlákna. Takto je možné správne premerať konektor na začiatku vlákna.



Obr. 3.18: Prepájací kábel [6]

3.4.3 Meranie útlmu a dĺžky vlákna

Vlákno sa v grafe zobrazí ako rovná čiara. Meranie dĺžky je možné pomocou dvoch kurzorov, ktoré sa umiestnia v grafe na hranice vlákna. Hranice vlákna tvoria reflektívne a nereflektívne udalosti.

Je nutné si uvedomiť, že prístroj meria dĺžku optického kábla, nie dĺžku šachty v ktorej je kábel umiestnený. Kábel je typicky dlhší o 2 % až 6 % ako šachta, pretože káblu je daná voľnosť pre istú manipuláciu a ohýbanie.

Pri meraní dĺžky vlákna prístroj automaticky vyhodnotí aj merný útlm vlákna. Merný útlm vlákna udáva kvalitu vlákna. Je to útlm vzťahnutý na dĺžku vlákna, typicky dB/Km. Je závislý od vlnovej dĺžky. Typické hodnoty pre jednovidové vlákno pre vlnovú dĺžku 1300 nm sú 0,4 až 0,6 dB na kilometer. Na vlnovej dĺžke je to 0,2 až 0,35 dB/Km. Pre multivídnové vlákna je merný útlm v rozsahu 1,0 až 6 dB/Km. [2]

Reflektometer určuje vzdialenosť nejakého bodu podľa vzťahu:

$$d = t \cdot C / 2 \cdot n$$

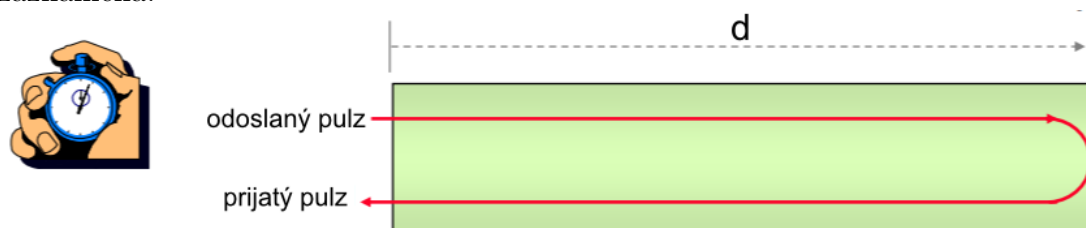
d - je meraná vzdialenosť

c - rýchlosť svetla vo vákuu (konštanta)

t - uplynutý čas od vypustenia po vrátenie pulzu

n - index lomu materiálu vlákna

Princíp merania vzdialenosti popisuje obrázok 3.19. Do vlákna sa pustí pulz, ktorý sa na konci vlákna odrazí. Testovací pulz je znova prijatý, uplynutý čas sa zaznamená.

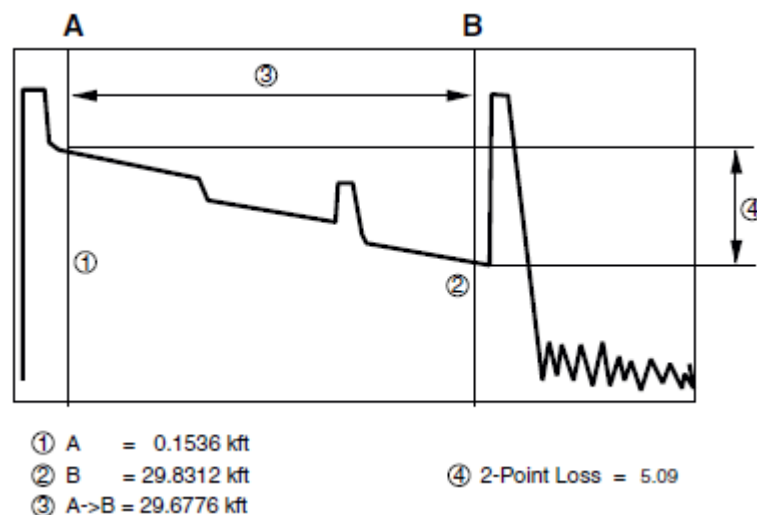


Obr. 3.19: Princíp merania dĺžky [7]

Je to len princíp. Prístroj OTDR pri meraní dĺžky pracuje so spätným rozptylom, nie odrazom.

3.4.4 Meranie celkového útlmu trasy

Celkový útlm trasy sa meria vložением jedného kurzora napravo blízko mŕtvej zóny a druhého kurzora naľavo pred posledný Fresnelov odraz. Útlm sa zobrazí na obrazovke.



Obr. 3.20: Meranie celkového útlmu trasy pomocou kurzorov [2]

3.4.5 Meranie útlmu spojky

Existujú dve metódy ako zmerať útlm: 2-bodová metóda a LSA metóda (metóda najmenších štvorcov).

2-bodová metóda

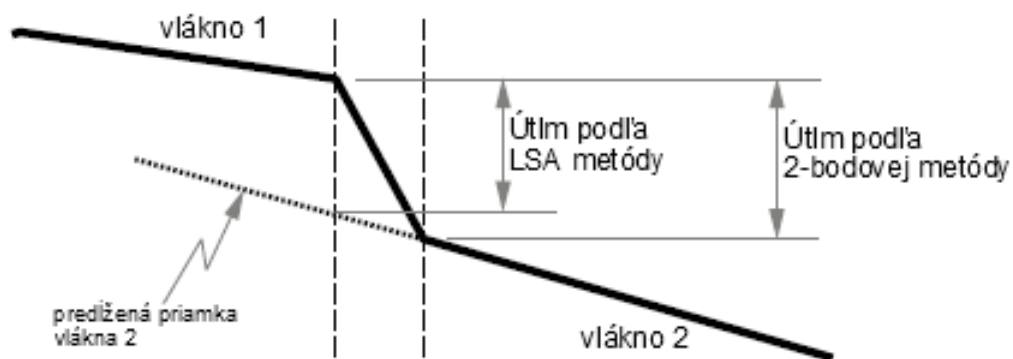
Táto metóda je rovnaká ako pri meraní útlmu vlákna. Dva kurzory sa umiestnia na hranice udalosti spoja, ktorého útlm chceme merať.

Zvar je na grafe zobrazený ako veľmi krátká šikmá čiara s veľkou strmou. Dĺžka trvania tejto šikmej čiary je závislá na nastavenej šírke pulzu. Ideálne by mal byť zvar zobrazený ako prudký skok dole v grafe spätného rozptylu (takmer okamžitá zmena výkonu spätného rozptylu).

Trvanie šikmej čiary predstavujúcej udalosť spoja teda predstavuje časť meraného optického vlákna. Pri tejto metóde sa teda nameria útlm zvaru + útlm časti vlákna. Túto nepresnosť sa snaží eliminovať metóda LSA.

Metóda LSA

Pri použití tejto metódy sa jednoducho umiestni kurzor na meraný bod (začiatok udalosti spoja). V menu prístroja sa vyberie meranie útlmu spoja pomocou LSA (LSA Splice Loss). OTDR prístroj tak určí útlm spoja bez chyby, ktorá bola prítomná v 2-bodovej metóde. Princíp tejto metódy je zobrazený na obrázku nižšie. Druhé vlákno je aproximované ako priamka pomocou metódy najmenších štvorcov (least square approximation). Umiestnený kurzor pretína vlákno 1 a vlákno 2 predĺžené metódou LSA. Tieto dva body potom určujú meraný útlm spojky.



Obr. 3.21: Porovnanie LSA a dvojbodovej metódy [2]

3.5 SOR súbor

[13] SOR ("Standard OTDR Record") je dátový formát používaný na ukladanie dát z optického reflektometra. Formát je definovaný standardom SR-4731 od spoločnosti Telcordia. Je to proprietárny formát a jeho špecifikácia nie je verejne zdarma dostupná.

Štruktúra SOR súboru ako ju popisujem v tejto kapitole bola získaná reverzným inžinierstvom existujúceho súboru autorom blogu <http://morethanfootnotes.blogspot.com> Hsin-Yu Sidney Li. V súčasnosti existujú dve hlavné verzie SOR súboru. Staršie verzie sú označené 1.x a novšie 2.x. V tejto kapitole opisujem verziu 2.x. Súbor je binárny, všetky hodnoty sú uložené ako celočíselné typy (signed/unsigned integer) s usporiadaním little-endian. Desatinné čísla sú tiež uložené ako integer. Na získanie ich hodnoty je typicky nutné vynásobiť ich nejakým desatinným číslom, typicky mocninou čísla 10. Text je uložený v kódovaní ASCII. Reťazce sú ukončené nulovým bajtom. V oboch verziách súboru sú dáta usporiadané v blokoch. Niektoré sú povinné, niektoré sú voliteľné.

Sú to bloky:

- Mapový blok (povinný): Map
- Blok všeobecných parametrov (povinný): GenParams
- Blok dodávateľa (povinný): SupParams
- Blok fixných parametrov (povinný): FxdParams
- Blok kľúčových udalostí (povinný): KeyEvents
- Blok linkových parametrov (voliteľný): LnkParams
- Blok dátových bodov (povinný): DataPts
- Špeciálny proprietárny blok (voliteľný)
- Blok kontrolného súčtu (voliteľný): Cksum

3.5.1 Map blok

Map blok je prvý blok. Obsahuje číslo verzie formátu súboru a informácie o blokoch prítomných v súbore. Map blok je mapou blokov. Obsahuje záznamy o blokoch, ktoré obsahujú názov bloku(string), číslo verzie a veľkosť bloku v bajtoch. Mapa tiež určuje poradie, v ktorom sú bloky usporiadané v súbore. Poradie môže byť iné pre rôznych výrobcov. Map blok je ale vždy prvý. Checksum blok je vždy posledný, pretože kontrolný súčet sa zapisuje až po spracovaní všetkých ostatných dát.

Map blok začína v súbore ako string "Map" nasledovaný nulovým bajtom. Nasledujúce bajty sú:

- 0-1: číslo verzie
- 2-5: dĺžka Map bloku v bajtoch
- 6-7: počet blokov v súbore

Všetky čísla sú neznamienkové celé čísla(unsigned integer). Číslo verzie je zakódované ako 100 násobok čísla verzie. Napríklad verzia 1.1 je zakódovaná ako číslo 110. Počet bajtov v Map bloku obsahuje aj bajty obsiahnuté v Map\0 hlavičke.

3.5.2 Blok všeobecných parametrov

Blok všeobecných parametrov začína s GenParams\0 reťazcom. Potom 2 znaky bajty označujú jazyk (EN = jazyk). Potom nasledujú nasledujúce polia:

- kábel ID: string
- vlákno ID: string
- typ vlákna: 2 byte unsigned integer
- vlnová dĺžka: 2 byte unsigned integer
- location A (štartovacia lokácia): string
- location B (konečná lokácia): string
- kód kábla: string
- build condition: 2 byte characters (no terminating '\0')
- neznáme pole: 8 bytes
- operátor: string
- komentár: string

Polia obsahujúce string sú ukončené nulovým bajtom. Pole typ vlákna je integer a určuje typ vlákna. Kódovanie je nasledovné:

- 651: ITU-T G.651 (multimódové vlákno)
- 652: ITU-T G.652 (štandardné jednomódové)
- 653: ITU-T G.653 (dispersion-shifted fiber)
- 654: ITU-T G.654 (1550nm loss-minimized fiber)
- 655: ITU-T G.655 (nonzero dispersion-shifted fiber)

Build condition sa skladá z dvoch znakov. Kódovanie je nasledovné:

- BC: as-built
- CC: as-current
- RC: as-repaired
- OT: other

3.5.3 Blok dodávateľa

Blok začína s reťazcom SupParams\0 . Obsiahnuté polia sú:

- názov dodávateľa
- názov OTDR prístroja
- sériové číslo
- názov modulu
- sériové číslo modulu
- softvérová verzia
- ostatné

3.5.4 Blok fixných parametrov

Blok fixných parametrov začína s reťazcom FxdParams\0 . Nazýva sa aj parametrom merania.

Polia sú nasledovné:

- 0-3: dátum a čas: 4 bajty
- 4-5: jednotky: 2 bajty
- 6-7: vlnová dĺžka: 2 bajty
- 8-17: neznámy 10 bajtov
- 18-19: šírka pulzu: 2 bajty
- 20-23: Sample spacing: 4 bajty
- 24-27: počet dátových bodov trasy: 4 bajty
- 28-31: index lomu: 4 bajty
- 32-33: koeficient spätného rozptylu: 2 bajty
- 34-37: počet signálových priemerov: 4 bajty
- 38-39: preimerovací čas: 2 bajty
- 40-43: rozsah: 4 bajty
- 44-57: neznámy: 14 bajtov
- 58-59: loss threshold: 2 bajty
- 60-61: reflection threshold: 2 bajty
- 62-63: end-of-transmission threshold: 2 bajty
- 64-65: typ trasy: 2 znaky
- 66-81: neznámy: 16 bajtov

Pole dátumu a času je 4 bajtový unsigned integer, ktorý ukladá čas v POSIX formáte. To znamená, že ukladá čas ako počet sekúnd od 1. Januára 1970 00:00:00 UTC. Jednotka je reprezentovaná dvoma znakmi. Sú to:

- km: kilometre
- mt: metre
- ft: stopy
- kf: kilostopy
- mi: míle

Vzdialenosti a pozície sú merané prístrojom OTDR ako čas cestovania svetelného lúča. Špecifikácia jednotiek iba požaduje, v akej jednotke by mali byť vzdialenosti a pozície zobrazené.

Vlnová dĺžka je zakódovaná ako unsigned integer, ktorý je 10 krát väčší ako vlnová dĺžka v nanometroch.

Šírka pulzu je unsigned integer v nanosekundách.

Sample spacing je unsigned integer reprezentujúci časový interval vzorkových bodov. Tie sú v jednotkách 0.01 pikosekúnd. Pre konverziu na metre je nutné integer vynásobiť 10^{-8} pre získanie mikrosekúnd a následne vynásobiť rýchlosťou svetla, vydeliť indexom lomu vlákna. Vypočítaná hodnota je rozlíšenie v metroch.

Index lomu je uložený ako unsigned integer vynásobený číslom 10^5 .

Koeficient spätného rozptylu je uložený ako unsigned integer. Hodnotu je nutné vynásobiť -0.5 na získanie hodnoty v decibeloch.

Priemerovací čas je unsigned integer v sekundách.

Rozsah je unsigned integer. Na konverziu do kilometrov je nutné hodnotu vynásobiť 2×10^{-5} .

Loss, Reflection a EOT threshold sú uložené ako unsigned integer. Hodnoty je nutné vynásobiť 0.001 na konverziu do dB. Reflection je nutné vynásobiť ešte hodnotou -0.001.

Typ trasy je reprezentovaný dvoma znakmi. Môžu to byť:

- ST: standard trace
- RT: reverse trace
- DT: difference trace
- RF: reference

3.5.5 Blok kľúčových udalostí

Blok začína s reťazcom KeyEvents\0. Nasledujúce 2 bajty sú počtom udalostí ako unsigned integer. Každá udalosť je veľká 42 bajtov. 42 bajtov vyzerá nasledovne:

- 00-01: poradové číslo udalosti; 2 bajty, unsigned integer
- 02-05: čas cesty(time of travel); 4 bajty, unsigned integer

- 06-07: sklon(slope); 2 bajty, signed integer
- 08-09: splice loss; 2 bajty, signed integer
- 10-13: útlm pri odraze(reflection loss); 4 bajty, signed integer
- 14-21: typ udalosti: 8 znakov
- 22-25: koniec predchádzajúcej udalosti (je 0 ak je prvou udalosťou)
- 26-29: začiatok aktuálnej udalosti
- 30-33: koniec aktuálnej udalosti
- 34-37: začiatok ďalšej udalosti (je rovný rozsahu keď je posledná udalosť)
- 38-41: vrcholový bod v aktuálnej udalosti

Číslo udalosti začína od 1. Čas cestovania(time of travel) je uložený ako unsigned integer v jednotkách 0.1 nanosekúnd. Sklon(slope), splice loss a útlm pri odraze(reflection loss) sú typu signed integer. Musia sa vynásobiť 0.001 na získanie hodnoty v dB a dB/km pre sklon(slope).

Typ udalosti je reprezentovaný ako reťazec vo forme nx9999LS . X je znak, ktorý koreluje s módom, v ktorom bola udalosť pridaná. Keď je x A, znamená to manuálny mód. x môže nadobúdať aj hodnoty ako 'E', 'F', 'M' a 'D' . Autorovi reverzne získanej špecifikácie sa nepodarilo zistiť význam iných hodnôt okrem A.

Písmeno n môže byť číslo 0,1 alebo 2. 0 je zvýšenie alebo zníženie energie, 1 je odraz, 2 znamená násobná udalosť.

Začiatok, koniec aktuálnej , predchádzajúcej a ďalšej udalosti sú typu integer . Reprezentujú čas cesty(time of travel) v 0.1 nanosekundách

Za posledným záznamom udalosti nasleduje ďalších 22 bajtov. Sú to:

- 00-03: totálny útlm: 4 bajty, signed integer
- 04-07: začiatočná pozícia vlákna: 4 bajty, signed integer
- 08-11: dĺžka vlákna: 4 bajty, unsigned integer
- 12-13: Optical return loss (ORL): 2 bajty, unsigned integer
- 14-17: kópia začiatočná pozícia vlákna (fiber start position) 4 bajty,
- 18-21: kópia dĺžka vlákna (fiber length) 4 bajty,

Totálny útlm a ORL hodnoty sa musia vynásobiť 0.001 na získanie dB. Začiatok vlákna a dĺžka vlákna sa prepočítavajú na vzdialenosť podľa vzorca: vzdialenosť v km = (integer hodnota) $\times 10^{-4} \times c$ / (index lomu)

3.5.6 Blok dátových bodov

Tento blok obsahuje dátové body merania. Blok začína stringom DataPts\0 . Ďalej nasleduje hlavička dlhá 12 bajtov. Prvé 4 bajty je v unsigned integer zapísaný počet dátových bodov. Ďalej nasledujú 2 bajty s neznámym účelom. Ďalšie 4 bajty sú kópiou množstva dátových bodov. Posledné 2 bajty sú scaling factor(takmer vždy rovné 1000).

Ďalej nasledujú dátové body. Každý dátový bod je zapísaný ako 2B unsigned integer. Hodnotu je nutné vynásobiť záporným scaling factor a 10^{-6} na získanie dát v dB. OTDR zobrazovače bežne normujú signál na 0 dB. Niektoré signál normujú na 0 dB maximum, iné minimum. Dátové body sú rovnomerne od seba vzdialené podľa "sample spacing"z bloku fixných parametrov. Scaling factor je takmer vždy 1000. V tomto prípade 2B na dátový bod dáva maximálne 65535 dB dynamického rozsahu.

3.5.7 Blok kontrolného súčtu

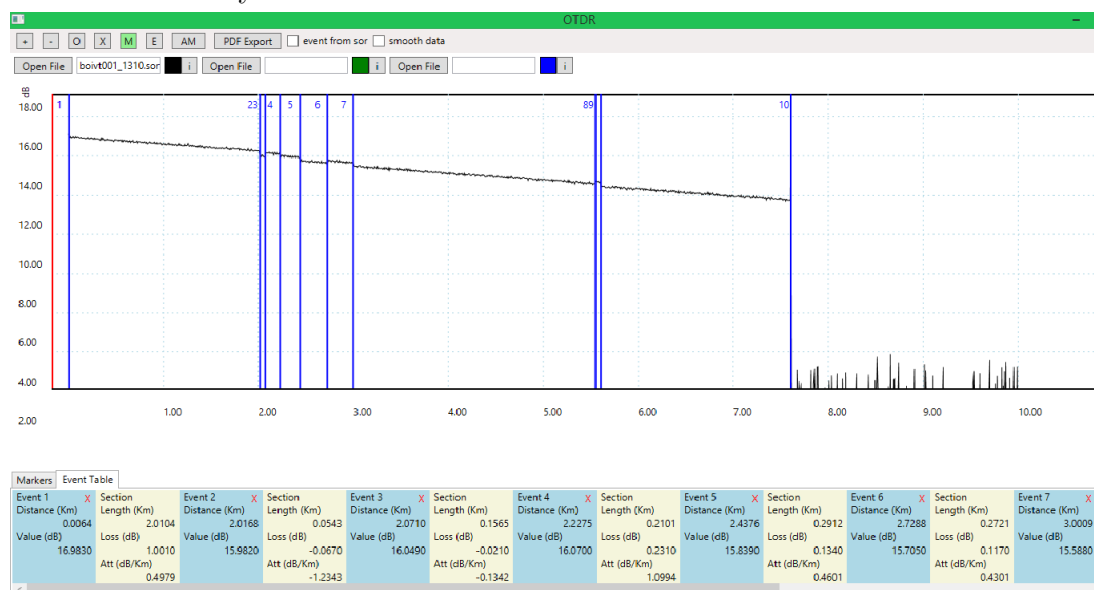
Blok začína so stringom Cksum\0 . Kontrolný súčet sú 2B, ktoré ďalej nasledujú. Algoritmus na výpočet kontrolného súčtu je 16bit CRC(cyklická redundantná kontrola).

4 PROGRAM NA SPRACOVANIE NAMERANÝCH ÚDAJOV Z REFRAKTOMETRU

Pre vytvorenie programu bol zvolený programovací jazyk C# .NET a ako vývojové prostredie bolo zvolené Microsoft Visual Studio 2017. Použitá verzia .NET frameworku je 4.5. Projekt používa na tvorbu užívateľského rozhrania WPF, ktorá je súčasťou .NET Frameworku. Graf využíva knižnicu `zocWpfCharts`, ktorá je proprietárna. Pre účely tohto projektu je možné ju použiť. Na export merania do pdf je použitá open-source knižnica `PDFsharp`. Program je optimalizovaný na rozlíšenia obrazovky 1336x768 a 1920x1080. Zdrojové kódy programu sa nachádzajú v prílohe.

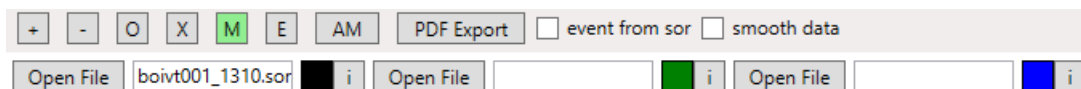
4.1 Popis funkcií programu

Obrázok nižšie zobrazuje grafické rozhranie programu. Všetky prvky sú v anglickom jazyku. Väčšiu časť programu zaberá grafová oblasť, ktorá zobrazuje dáta ako závislosť dB od dĺžky v km. Nad ňou sa nachádza pás tlačidiel. Pod grafovou oblasťou sa nachádza pás s prepínacími záložkami `Markers` a `Event Table`. Program sa spustí automaticky po kliknutí na `Open File` a vyberie súbor v sprievodcovi. Je možné otvoriť až 3 súbory a zobraziť si tak až 3 merania súčasne.



Obr. 4.1: Grafické rozhranie programu

Pás tlačidiel



Obr. 4.2: Pás tlačidiel

Tlačidlá + a - slúžia na približovanie a oddľalovanie grafu. Kliknutím na jedno z tlačidiel sa graf priblíži alebo oddiali na stred zobrazenia.

Tlačidlo 0 vyčistí aktuálne zobrazenie a pripraví program na načítanie ďalších súborov.

Tlačidlo M je nástroj na posúvanie grafu vertikálne a horizontálne kliknutím a ťahaním. Keď je zelené, je tento nástroj zapnutý. Vypnutím pohybu grafu stlačením tlačidla M sa zapne možnosť pohybovať červenými kurzormi v grafe a modrými značkami označujúcimi udalosti.

Tlačidlo E vykreslí do oblasti grafu modré značky na udalostiach v grafe. Ak je v grafe zobrazených viac meraní, udalosti sa zobrazujú z posledného načítaného súboru.

Zaškrtávací štvorec(checkbox) s názvom "event from sor" pri zaškrtnutí zobrazí udalosti podľa dát v sor súbore. Je nutné tento checkbox označiť ešte pred načítaním súboru. Ak je checkbox deaktivovaný, polohy udalostí na vlákne sa zisťujú detekciou hrán na signále (tzv. signal processingom).

Zaškrtávací štvorec(checkbox) s názvom "smooth data" nastaví zobrazenie signálu ako odšumené. Tento checkbox je nutné označiť ešte pred načítaním súboru. Pri deaktivovanom checkboxe budú zobrazené zašumené dáta načítané zo sor súboru.

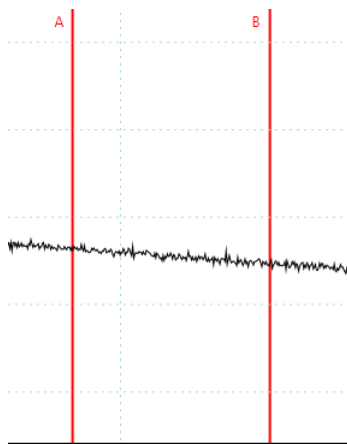
Tlačidlo AM umožňuje pridať udalosť (modrú značku) do grafu. Kliknutím na tlačidlo zmení svoju farbu na zelenú. Následným kliknutím do oblasti grafu sa udalosť pridá. Udalosť sa pridá aj do tabuľky udalostí (Event Table) a tabuľka sa prepočíta. Ak sa rozhodneme po kliknutí na tlačidlo AM nepridať značku, stačí na neho kliknúť znova a ono sa deaktivuje.

Tlačidlo PDF Export slúži na vyexportovanie zobrazeného grafu a tabuľky udalostí do súboru pdf.

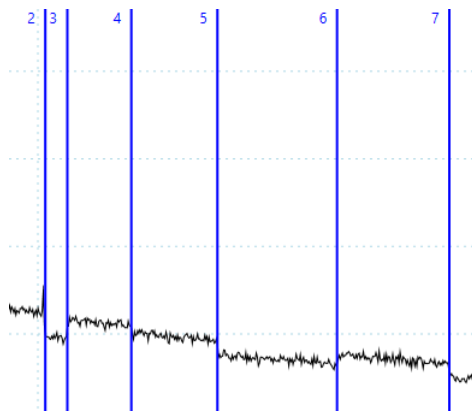
Nižšie sa nachádzajú 3 skupiny UI elementov. Každá skupina reprezentuje jeden súbor. Obsahuje tlačidlo "Open file", ktoré spustí sprievodcu a umožní vybrať sor súbor pre zobrazenie. Za ním je štvorec, ktorý označuje farbu krivky grafu. Za ním je tlačidlo označené ako i, ktoré po kliknutí zobrazí okno s informáciami o meraní zo sor súboru.

Oblasť grafu

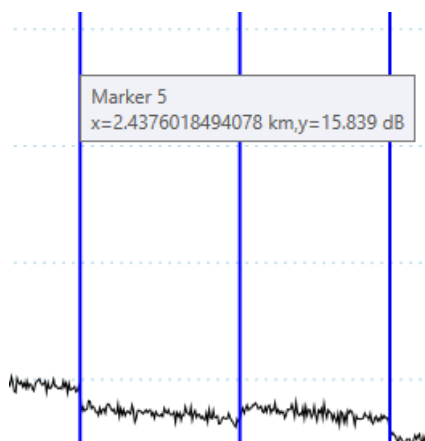
Grafová oblasť zobrazuje namerané dáta pre 1 až 3 merania. Zobrazuje červené kurzory a modré značky, ktoré sú očíslované. Kurzory sú označené písmenami A a B. Značky sú označené číslami. Značkami a kurzormi je možné pohybovať po deaktivovaní M tlačidla. Pre pohyb modrou značkou je nutné umiestniť ukazovateľ myši nad značku a stlačiť ľavé tlačidlo myši. Kurzor myši sa zmení na krížik a potom je možné značkou pohybovať. Po prechode ukazateľa myši nad značkou sa zobrazia x a y súradnice danej udalosti.



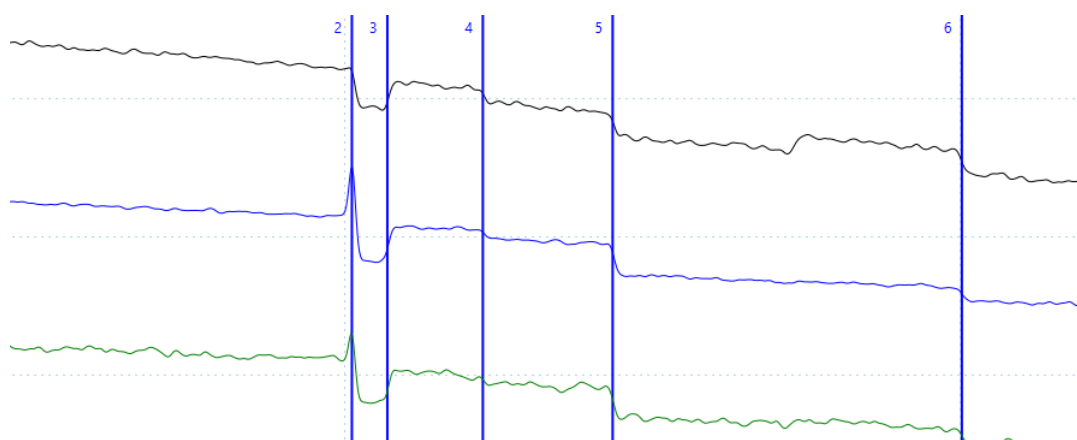
Obr. 4.3: Kurzory A a B



Obr. 4.4: Detail na modré značky



Obr. 4.5: Zobrazenie x a y súradníc na modrej značke



Obr. 4.6: Zobrazenie troch odšumených grafov v grafovej oblasti

Pás udalostí

Pás udalostí obsahuje dve záložky, Markers pre zobrazenie merania kurzormi a Event Table, ktorá zobrazuje udalosti a sekcie na vlákne. Event table sa dynamicky mení pridávaním značiek a pohybovaním značkami. Udalosti je možné aj odobrať stlačením červeného krížika na udalosti.

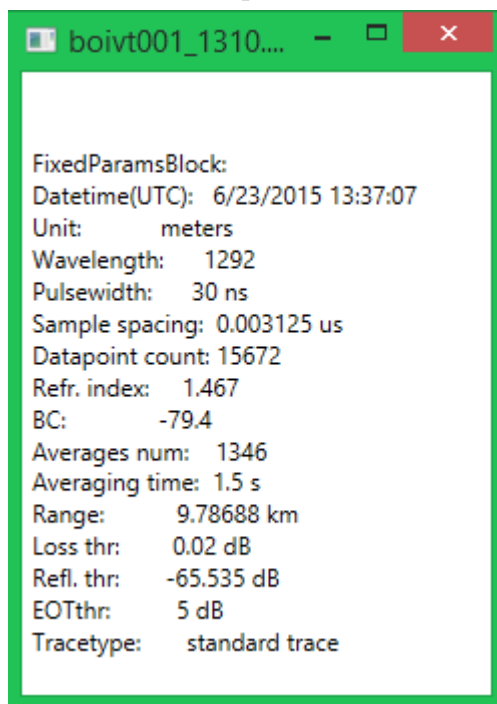
Udalosti sú v Tabuľke udalostí zobrazené modrou farbou. Udalosť obsahuje vzdialenosť v Km a hodnotu v dB. Sekcia obsahuje dĺžku, útlm a merný útlm v dB na Km.

| | | | | |
|---------------|---|-------------|---------------|---|
| Event 1 | X | Section | Event 2 | X |
| Distance (Km) | | Length (Km) | Distance (Km) | |
| 0.0064 | | 2.0104 | 2.0168 | |
| Value (dB) | | Loss (dB) | Value (dB) | |
| 16.9830 | | 1.0010 | 15.9820 | |
| | | Att (dB/Km) | | |
| | | 0.4979 | | |

Obr. 4.7: Udalosť a sekcia

Zobrazenie parametrov merania zo súboru

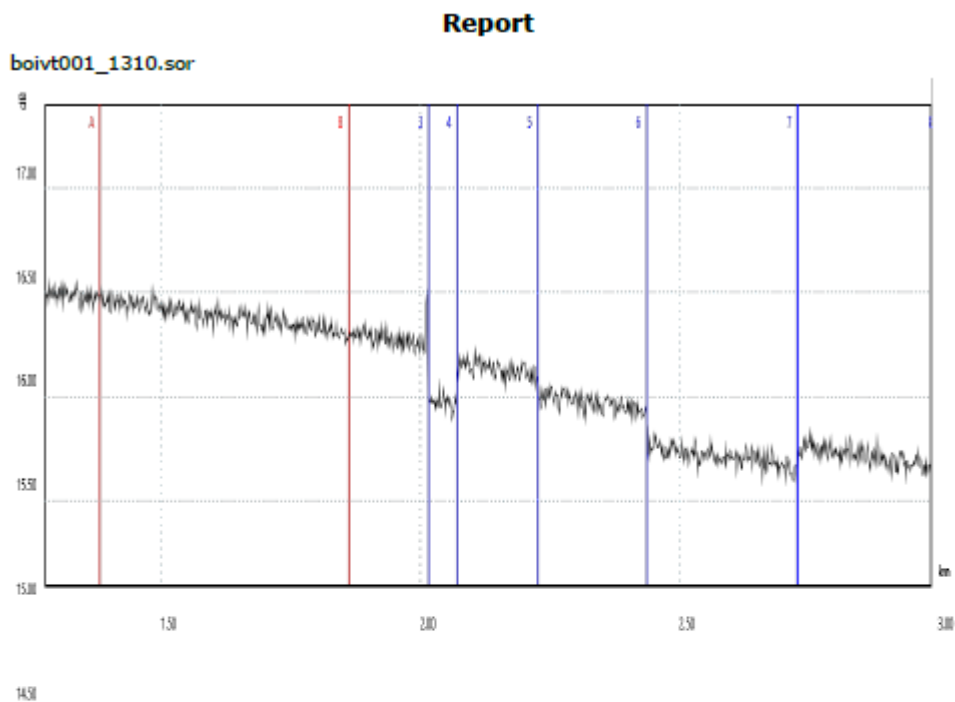
Parametre merania sa zobrazia ako okno po kliknutí na tlačidlo i. Parametre merania zobrazujú dátum a čas merania v UTC, jednotku, vlnovú dĺžku, šírku pulzu, sample spacing, počet dátových bodov a ďalšie parametre.



Obr. 4.8: Parametre merania po kliknutí na tlačidlo i.

PDF Export

Po kliknutí na tlačidlo PDF export sa spustí sprievodca výberu súboru. Po zvolení, kde sa má súbor uložiť sa súbor uloží do daného umiestnenia. Súbor PDF obsahuje oblasť grafu, sekcie a udalosti v tabuľke s ich parametrami.



| Event/Section | Distance (Km) | Value (dB) | Length (Km) | Loss (dB) | Att (dB/Km) |
|---------------|---------------|------------|-------------|-----------|-------------|
| Event 1 | 0.0064 | 16.9830 | - | - | - |
| Section | - | - | 1.0084 | 0.3600 | 0.3570 |
| Event 2 | 1.0148 | 16.6230 | - | - | - |
| Section | - | - | 1.0020 | 0.6410 | 0.6397 |
| Event 3 | 2.0168 | 15.9820 | - | - | - |
| Section | - | - | 0.0543 | -0.0670 | -1.2343 |
| Event 4 | 2.0710 | 16.0490 | - | - | - |
| Section | - | - | 0.1565 | -0.0210 | -0.1342 |
| Event 5 | 2.2275 | 16.0700 | - | - | - |
| Section | - | - | 0.2101 | 0.2310 | 1.0994 |
| Event 6 | 2.4376 | 15.8390 | - | - | - |
| Section | - | - | 0.2912 | 0.1340 | 0.4601 |
| Event 7 | 2.7288 | 15.7050 | - | - | - |
| Section | - | - | 0.2721 | 0.1170 | 0.4301 |

Obr. 4.9: Exportované meranie do PDF formátu

Meranie kurzormi

Kurzory realizujú dvojbodové meranie. Meria sa rozdiel vzdialeností, útlm v dB/km a útlm v dB.

| Markers | Event Table | |
|--------------|-------------|---------------|
| Marker | Position | Value |
| A | 1.38 km | 16.46 dB |
| B | 1.86 km | 16.29 dB |
| Loss | | -0.17 dB |
| Distance A-B | 0.48 km | |
| Attenuation | | -0.36 dB / km |

Obr. 4.10: Meranie pomocou kurzorov v záložke Markers

4.2 Riešenie

4.2.1 Detekcia hrán v signále

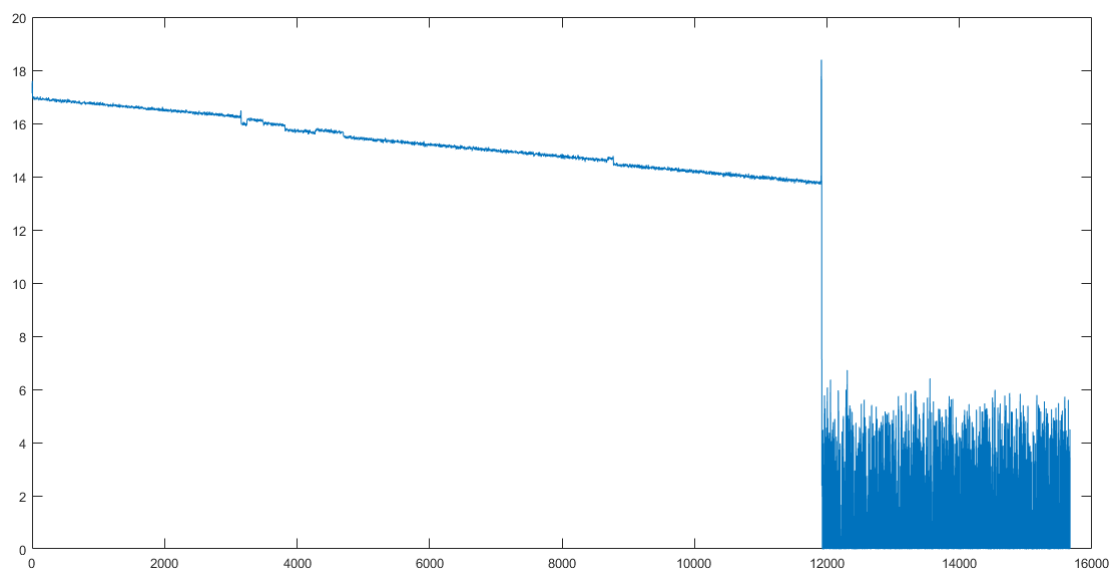
Detekciu hrán som realizoval najskôr v programe Matlab, neskôr som túto funkciu prepísal do programovacieho jazyka C#. Detekujem hrany, ktoré reprezentujú spojenia optických vlákien spojkami alebo zvarmi. Súbor pre Matlab sa nachádzajú v zložke `detekcia_hran` v odovzdaných súboroch.

Obrázky v tejto kapitole zobrazujú graf nameraných dát z prístroja OTDR pri vlnovej dĺžke 1310 nm. Môj detektor hrán ale funguje na všetkých troch vzorových meraniach pre vlnové dĺžky 1625, 1550 a 1625 nm.

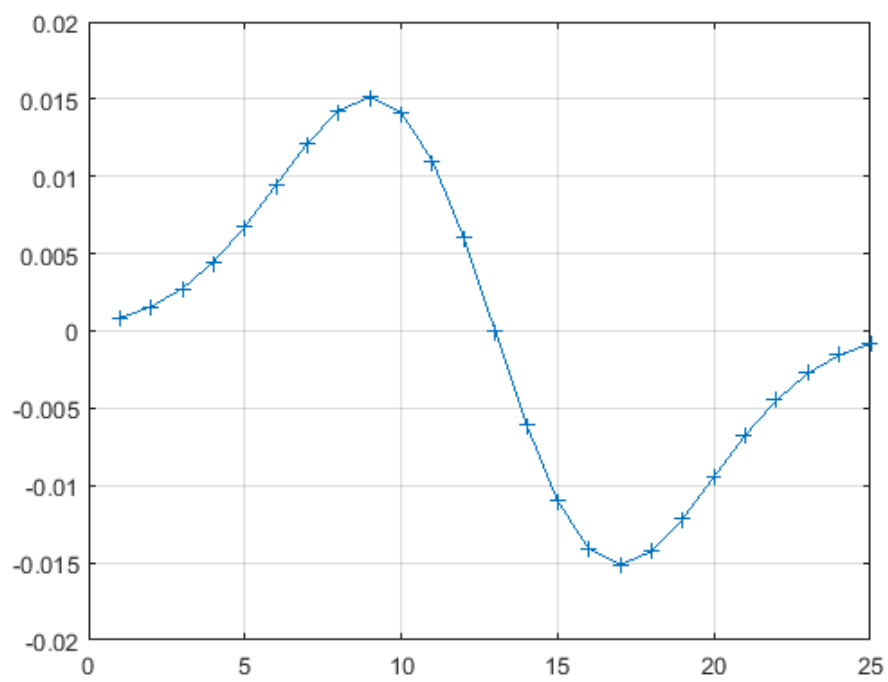
Signál je zašumený v celej svojej dĺžke. Od dátového bodu 0 po bod 11904 sa nachádzajú namerané body na optickej trase. Vysoká špička v okolí bodu 11904 označuje koniec vlákna. Ďalej sa nachádza len šum, ktorý nemá žiadnu informatívnu hodnotu. Mojim cieľom bolo oddelenie výrazne zašumenej časti od časti, ktorá reprezentuje skutočnú optickú trasu. Signál som najskôr konvolvoval s filtrom typu 1. derivácia Gaussovho filtra. Pred konvolúciou je nutné pred dáta na začiatku a za dáta na konci pridať dátové body v šírke použitého filtra - tzv. padding. Hodnota pridaných dátových bodov je rovnaká ako začiatkové a koncové body pôvodného signálu. Je to z dôvodu, aby sa po aplikácii filtra nezobrazili na koncoch signálu výrazné hrany. Po konvolúcii je nutné padding odstrániť, tým sa odstránia aj nechcené hrany. Konvolúcia s takýmto filtrom zvýrazní hrany ako špičky v signále a znormuje signál na hodnoty od -1 do 1. Výraznú hranu je možné potom detekovať hľadaním extrému v grafe hodnôt. Po detekcii prvej výraznej hrany som signál orezal na dĺžku po nájdený extrém.

Na signál s odstráneným výrazným šumom na konci som znova aplikoval filter 1. derivácie Gaussovho filtra na zvýraznenie hrán. Na obrázkoch nižšie sú zobrazené použité filtre. Potom som použil funkciu na hľadanie lokálnych extrémov na nájdenie hrán.

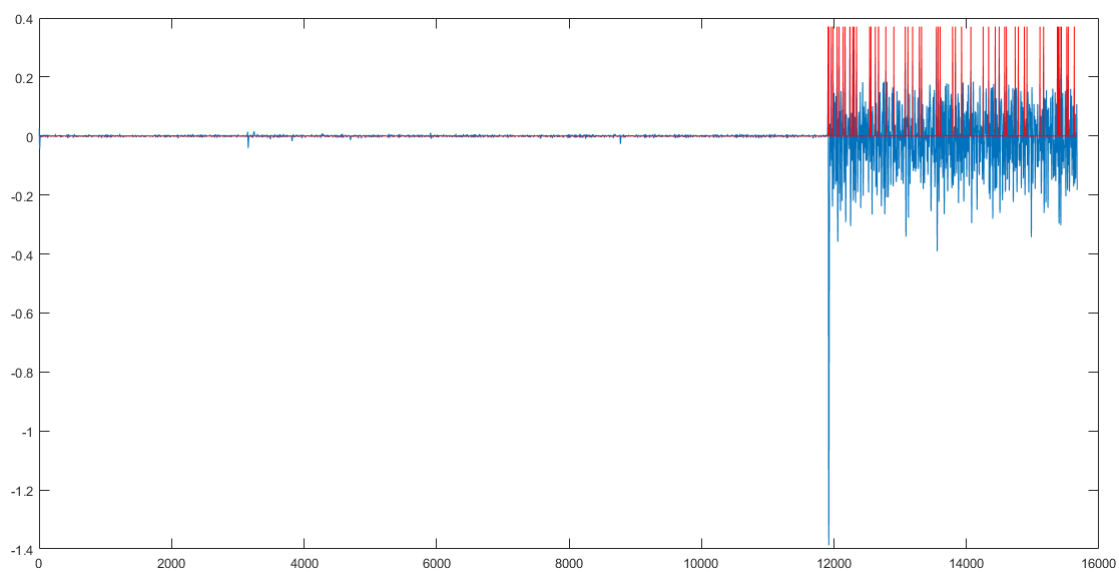
Filter vytvára funkcia `KernelGaussian1deriv.m`. Má dva vstupné parametre - `width`(šírka) a `scale`(veľkosť). Hodnota `sigma` je rovná hodnote `scale`.



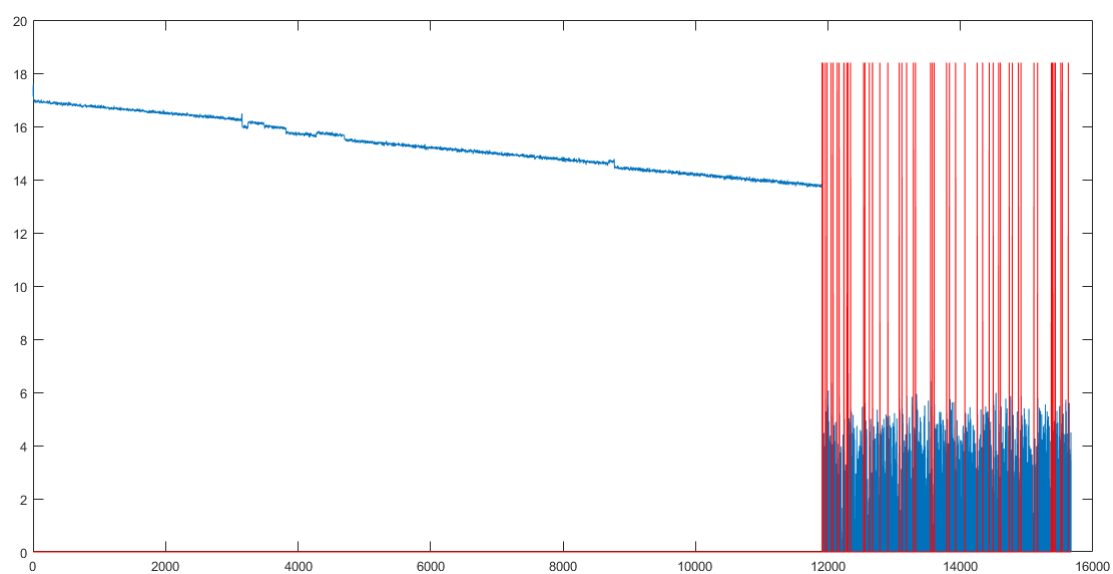
Obr. 4.11: Signál pri meraní na vlnovej dĺžke 1310nm



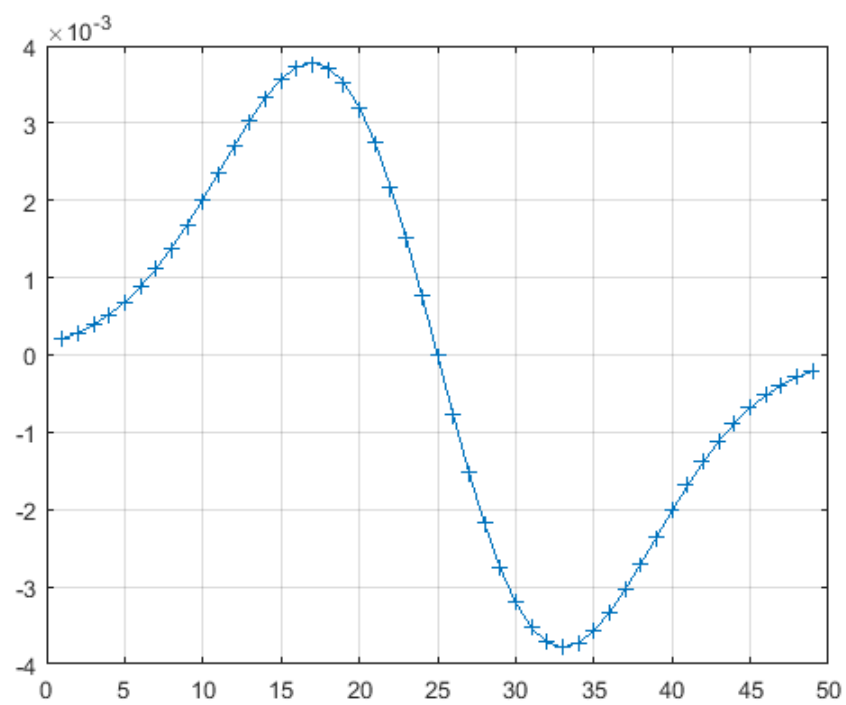
Obr. 4.12: Filter 1. derivácia Gaussovho filtra pri `scale = 4`



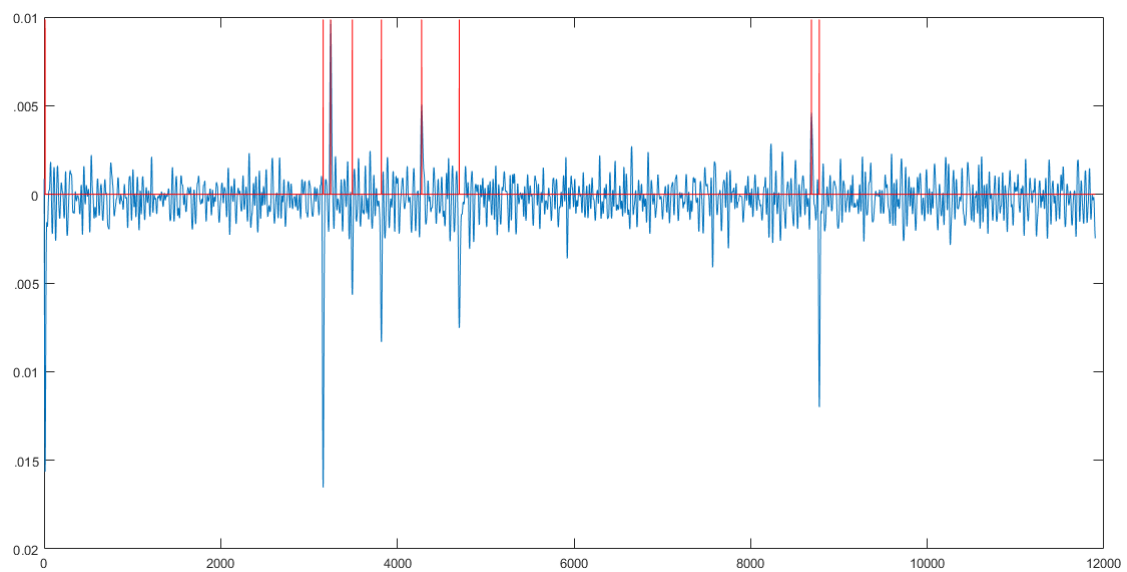
Obr. 4.13: Pôvodný signál po konvolúcii s 1. deriváciou Gauss. filtra



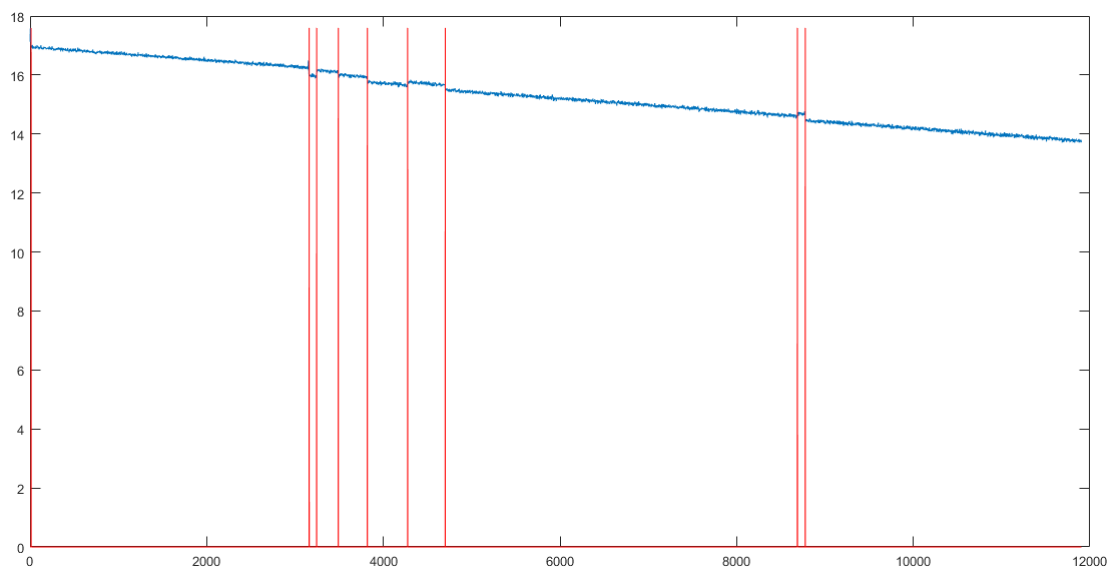
Obr. 4.14: Pôvodný signál s detekovaným výrazným šumom na konci



Obr. 4.15: Filter 1. derivácia Gaussovhovho filtra pri scale = 8



Obr. 4.16: Orezaný signál po konvolúcii s 1. deriváciou Gauss. filtra



Obr. 4.17: Orezaný signál s detekovanými hranami

Súbory pre Matlab sa nachádzajú v zložke `detekcia_hran` v odovzdaných súboroch. `DetectEdgesProjekt.m` je skript, ktorý spustí detekciu hrán a odšumovanie na matici `data1310.mat` a zobrazí grafy. `DetectEdgesProjekt` využíva všetky funkcie v zložke `detekcia_hran`. Súbor `KernelGauss.m` obsahuje funkciu `KernelGauss(scale, width)`, ktorá vytvorí Gaussov filter. Súbor `kernelGaussian1deriv.m` obsahuje funkciu `Odsum(data, scale, width)`, ktorý na vstupe berie dáta, parametre Gaussovho filtra a na výstupe vracia odšumené dáta. Súbor `FindLocalExtrema.m` obsahuje funkciu `FindLocalExtrema(data, threshold, scale)`, ktorá hľadá lokálne extrémny v dátach pomocou klzavého okna. `Threshold` určuje hranicu, ktorou je možné špecifikovať výšku extrémov vzhľadom k maximálnemu extrému v celom signále.

Zdrojový kód funkcie `DetectEdges` v jazyku Matlab:

```
function [edgeindexmat] = DetectEdges(data, scale, width
    ,threshold );
%funkcia vracia maticu indexov hran vektor dat edgeindexmat
%scale urcuje mierku gaussianoveho filtra a sliding window
    pri hladani
%lokalnych extremov
% threshold je prah pri hladani lokalnych extremov
% width paramater gauss jadra

g= KernelGaussian1deriv(scale,width ); %vytvorenie
    gaussianovho jadra danej velkosti
                                %a sirky

%vyplnenie okrajov s velkostou g na zaciatku a konci
```

```

padData = [data(1)*ones(length(g),1); data;
            data(end)*ones(length(g),1)];
fData = conv(padData, g);

offset = (length(fData) - length(data)) / 2;
fData = fData(offset:offset+length(data)-1); %odstraneny
padding
%konvolucia fData zvacasila

%ziskam extremy
[ extrema] = FindLocalExtrema( fData, threshold, scale )
edgeindexmat=find(extrema); %vrati indexy nenulovych prvkov
                             %maticu indexov hran

%generovanie znaciek s vyskou max(data)
markdata = 1.0 * extrema *max(data);

%generovanie znaciek pre konv. signal
markdata2 = 1.0 * extrema *max(fData);

%vykreslenie znaciek v konvoluvovanom signale
figure('Name','hrany po konvolucii');
plot(fData);
hold on;
plot(markdata2, 'r');
hold off;

%vykreslenie znaciek v povodnom signale
figure('Name','hrany')
plot(data)
hold on;
plot(markdata, 'r');
hold off;

```

Zdrojový kód funkcie FindLocalExtrema v jazyku Matlab:

```

function [ extrema] = FindLocalExtrema( data, threshold,
    scale )
% Hlada lokalne extremy v matici data
% data - vstupne data
% threshold je prah pri hladani lokalnych extremov
% scale - urcuje velkost klzaveho okna - sliding window

```

```

% znormujem data
rdataMax = data / max(data); %matica znormovana na max
rdataMin = (data / min(data)); %matica znormovana na min

winmax = zeros(size(data));
winmin = zeros(size(data)); %dve nulove matice

%hlada extremy v znormovanej matici cez sliding window
for i = 1+scale:size(data,1)-scale %cyklus od zaciatok
    +scale az do koniec -scale
        winmax(i) = max(rdataMax(i-scale:i+scale));
        winmin(i) = max(rdataMin(i-scale:i+scale));
end

maxima = zeros(size(data));
minima = zeros(size(data));

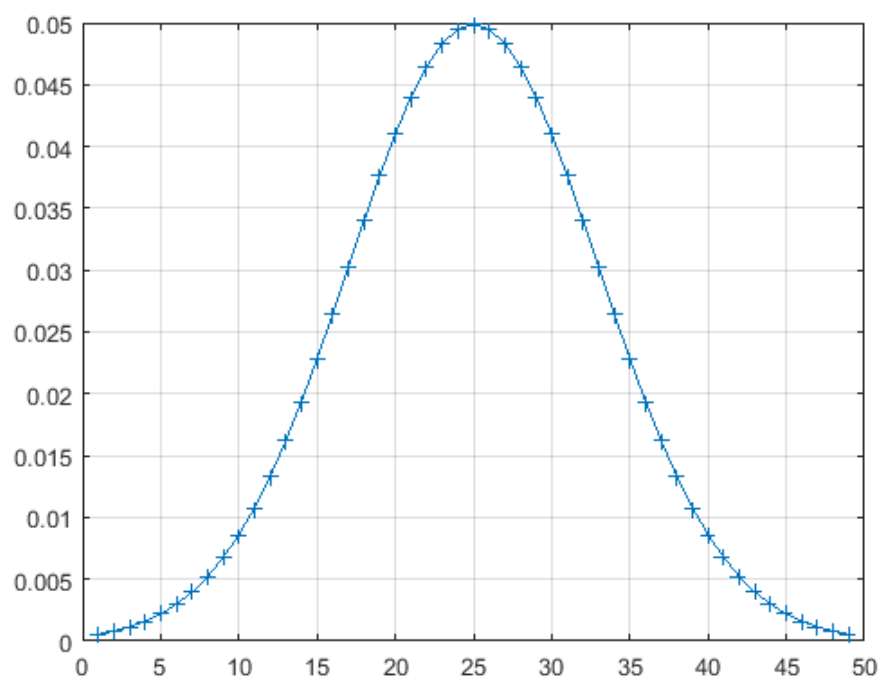
% najde lokalne minimum a maximum
ii = (1+scale:size(data,1)-scale)';
maxima(ii) = rdataMax(ii) >= threshold & rdataMax(ii) >=
    winmax(ii);
minima(ii) = rdataMin(ii) >= threshold & rdataMin(ii) >=
    winmin(ii);
%vysledok su matice nul a jednotiek

% skombinuju sa maxima a minima
extrema = maxima + minima; %spocita mi to tie matice
minima=find(minima)
maxima=find(maxima)

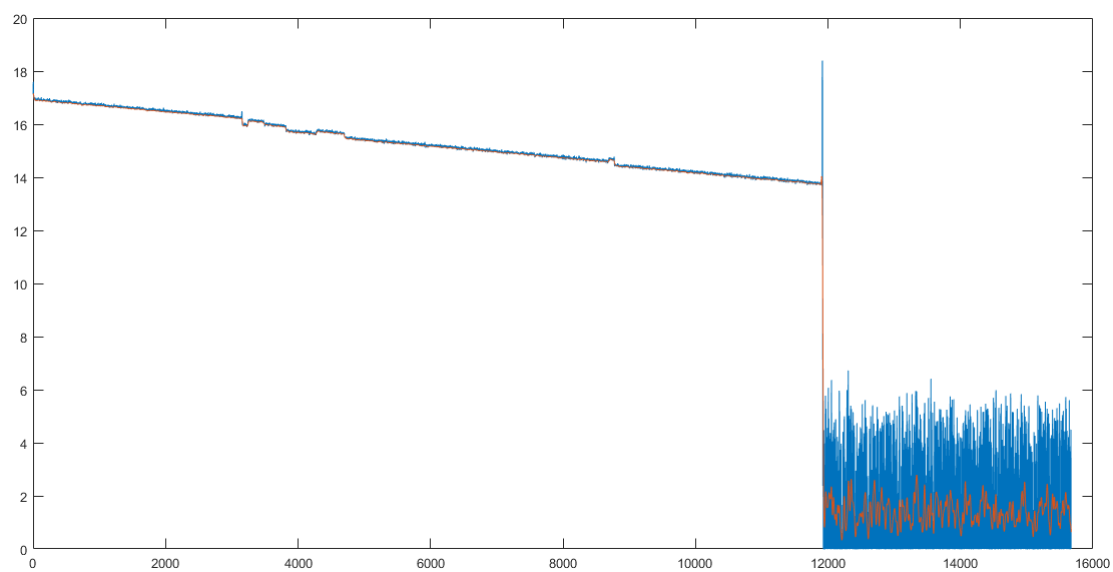
```

4.2.2 Odšumenie signálu

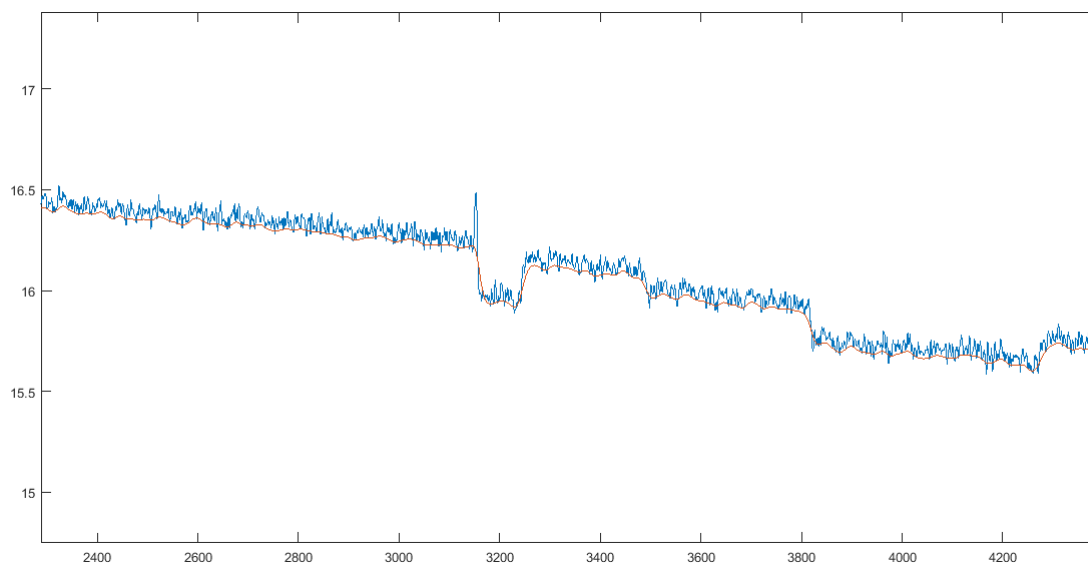
Odšumenie signálu som realizoval konvolúciou Gaussovým filtrom. Filter je zobrazený nižšie.



Obr. 4.18: Gaussov filter s veľkosťou scale = 8



Obr. 4.19: Pôvodný signál a odšumený signál



Obr. 4.20: Priblížený pôvodný a odšumený signál

Odšumenie signálu je realizované funkciou `Odsum(data, scale, width)` v Matlab kóde. V mojej C# aplikácii je odšumenie realizované metódou `smooth(double[] data)`.

Zdrojový kód funkcie `odsum` v jazyku Matlab:

```
function [fData] = Odsum(data, scale, width)
% priklad pouzitia Odsum(inputdata, 8, 3);
% data su vstupne data
%scale urcuje mierku gaussianoveho filtra
% width paramater gauss jadra, urcuje jeho sirku

g= KernelGauss(scale, width); %vytvorenie gaussianovho
    jadra danej velkosti
                                %a sirky

%vyplnenie okrajov s velkoustou g na zaciatku a konci
padData = [data(1)*ones(length(g),1); data;
    data(end)*ones(length(g),1)];
%konvolucia
fData = conv(padData, g);

offset = (length(fData) - length(data)) / 2;
fData = fData(offset:offset+length(data)-1); %odstraneny
padding
```

4.2.3 Parser SOR súboru.

Parser je v mojom programe realizovaný triedou SorParser. Môj parser spacováva bloky Map,FxdParams,KeyEvents a DataPts. Je založený na špecifikácii získanej reverzným inžiniersvtvom SOR súborov. Štandard Telcordia SR-4731 nemam k dispozícii, napriek tomu je parser funkčný. Otestovaný je na vzorových súboroch. Parser pracuje s verziou 2.x formátu Telcordia .

Trieda SorParser komunikuje s ostatnými objektami v projekte pomocou public metód. Sú to metódy getDataPoints() a getEventLocIndex(). getDataPoints() vracia dátové body zo spracovaného sor súboru. getEventLocIndex() vracia List indexov dátových bodov na ktorých sa nachádzajú udalosti.

Konštruktor:

```
public SorParser(string filepath)
{
    this.filepath = filepath;
    datapts = new List<DataPoint>();
    //nacitanie suboru
    ms = new MemoryStream();
    try
    {
        FileStream fs = new FileStream(filepath,
            FileMode.Open);
        fs.CopyTo(ms);
        fs.Dispose();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        parserlog += ("Exception: " + ex.Message +
            '\n');
    }

    //kontrola ci subor nie je prazdny
    br = new BinaryReader(ms);
    if (br.BaseStream.Length == 0)
    {
        parserlog += ("Empty file!" + '\n');
    }
}
```

V konštrukte sa otvorí súbor zadaný ako parameter konštruktora. Obsah sú-

bora sa nakopíruje do objektu ms typu MemoryStream. Z ms sa vytvorí objekt br typu BinaryReader, s ktorým potom ďalej pracujú ostatné metódy. Ak nastane počas tejto fázy nejaký problém, exception sa zachytí a zapíše sa do logu parserlog.

Súbor SOR čítam ako pole bajtov s br, ktorý je atribútom celej triedy. Pomocou jeho atribútu br.BaseStream.Position je možné skočiť na danú pozíciu v br a prečítať dáta odtiaľ.

Najskôr je potrebné spracovať mapový blok, aby som získal začiatkové a konečné adresy blokov a ich veľkosť v bajtoch. Čítanie Map bloku je realizované v metóde processDataPointsBlock().

Časť metódy processDataPointsBlock() :

```
//citam prvý blok
    br.BaseStream.Position = 0;
    blocks.Add(getBlock());

    //nacistam počet blokov v subore
    ushort blockcount = br.ReadUInt16();
    outdiag += String.Format("Block count: " +
        blockcount + '\n');

    //citam všetky bloky v hlavicke
    for (int i = 1; i < blockcount; ++i)
    {
        blocks.Add(getBlock());
    }
    //spocitam start a end
    uint tempstart = 0;
    foreach (Block bl in blocks)
    {
        bl.start = tempstart;
        tempstart += (bl.size);
        bl.end = bl.start + bl.size - 1;
    }

    //vytvorim slovník blokov
    dict = new Dictionary<string, Block>();
    foreach (Block bl in blocks)
    {
        dict.Add(bl.name, bl);
    }
```

```

    }

    //vypisem bloky
    outdiag += String.Format("
                                start      end      size start(hex)      name
                                end(hex)\n");

    foreach (Block bl in blocks)
    {
        outdiag += (bl.ToString()+'\\n');
    }

```

Metóda `processDataPointsBlock()` spracuje hlavičku súborov a získa údaje o jednotlivých blokoch. Začína na pozícii 0 v súbore. Metóda volá metódu `getBlock`, ktorá číta informácie o jednom bloku. Prvý je Map block. Za prvým Map blokom nasleduje 2B Unsigned integer, ktorý udáva množstvo blokov v súbore. Ďalej sa v cykle načítajú ostatné bloky do List blocks . Všetky bloky sú pridané do slovníka dict, ktorý mapuje názov bloku na jeho začiatočnú pozíciu. Z veľkostí blokov sa vo foreach bloku spočítajú začiatočné a konečné adresy jednotlivých blokov. V ďalšom kroku sa vytvorí slovník, ktorý mapuje textové označenie bloku na začiatočnú pozíciu bloku. V ďalšom kroku sa informácie o blokoch zapíšu do stringu outdiag.

Príklad výpisu atribútu outdiag pre jeden konkrétny súbor:

Block count: 8

| | name | start | end | size | start(hex) | end(hex) |
|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|------------|----------|
| | Map | 0 | 134 | 135 | 0 | 86 |
| | GenParams | 135 | 210 | 76 | 87 | D2 |
| | SupParams | 211 | 282 | 72 | D3 | 11A |
| | FxdParams | 283 | 374 | 92 | 11B | 176 |
| | KeyEvents | 375 | 795 | 421 | 177 | 31B |
| | DataPts | 796 | 32159 | 31364 | 31C | 7D9F |
| ExfoNewProprietaryBlock 01 | | 32160 | 60663 | 28504 | 7DA0 | ECF7 |
| | Cksum | 60664 | 60671 | 8 | ECF8 | ECFF |

Obr. 4.21: Výpis outdiag

Metóda `getBlock()`:

```

private Block getBlock() //precita blok
{
    string labelstring = getLabelString();
    br.BaseStream.Position += 2; //2 byte oznacujuce
    verziu

```



```

        uint blocksize = br.ReadUInt32(); //precitam 4
        byte pocet bytov v Map bloku
        return new Block(labelstring, blocksize);
    }

```

Metóda prečíta label a blocksize daného bloku.

Metóda getLabelString():

```

private string getLabelString() //cita string ukonceny 0
    bytom
    {
        int a; //aktualny byte
        string s = "";
        int count = 0; //precitany pocet bytov
        do
        {
            a = br.ReadByte();
            ++count;
            if (a == 0)
            {
                break;
            }
            s += (char)a;
            //osetrenie nekonecnej smycky
            if (count >= br.BaseStream.Length) break;
        }
        while (a != 0);
        return s;
    }

```

Číta string až kým nenarazí na nulový bajt. Potom string vráti.

Čítanie dátových bodov je realizované v metóde processDataPointsBlock():

```

//citam datapoints
br.BaseStream.Position = dict["DataPts"].start;
br.BaseStream.Position += ("DataPts".Length +
    1); //preskocim uvodny string ukonceny null
uint datapointcount = br.ReadUInt32();
    //precitam pocet datovych bodov
br.BaseStream.Position += 2; //skok o dva byte
dopredu

```

```

br.BaseStream.Position += 4; // 4byte stejne
    jako datapointcount
uint scalingfactor = br.ReadUInt16(); //
    precitam scalingfactor
outdiag += String.Format("datapointcount: {0}
    scalingfactor: {1}\n", datapointcount,
    scalingfactor);

// vytvorenie y osi
double[] y = new double[datapointcount];
for (uint i = 0; i < datapointcount; ++i)
{
    y[i] = br.ReadUInt16() * scalingfactor *
        0.000001;
}
double max = y.Max(); //spocitam maximum
// posuniem y os
for (uint i = 0; i < datapointcount; ++i)
{
    y[i] = max - y[i];
}

```

Pomocou Position atribútu sa skočí na štart bloku Datapts. Odtiaľ sa prečíta počet dátových bodov. Ďalej sa vytvára y os ako pole double s veľkosťou dátových bodov. Vo for cykle sa toto pole naplní čítanými dátami. V ďalšom for cykle sa dáta znormujú podľa max. hodnoty.

Čítanie FixedParamsBlock je realizované metódou processFixedParamsBlock(). Príklad čítania hodnoty v bloku FixedParamsBlock:

```

br.BaseStream.Position = dict["FxdParams"].start; //skocim
    na zaciatok bloku
br.BaseStream.Position += "FxdParams".Length +
    1; //skok o dlzku stringu + 1 byte

//zapis do diag
fixedParamstext +=
    String.Format("\n\nFixedParamsBlock:");

//citam datum vo Unix formate
double unixseconds = (double)br.ReadUInt32();
System.DateTime dt = new DateTime(1970, 1, 1, 0,

```

```

    0, 0, 0, System.DateTimeKind.Utc);
dt = dt.AddSeconds(unixseconds).ToLocalTime();
//konverzia do Windows datetime struktury
fixedParamstext +=
    String.Format("\nDatetime(UTC):
    ".PadRight(18)+ dt);

```

Na začiatku sa nastaví pozícia `br.BaseStream.Position` na začiatok bloku. Prvou čítanou hodnotou je čas a dátum reprezentovný 4B. Je vo formáte pre POSIX systémy, takže je uložený ako počet sekúnd od 1.1. 1970 . `dt` sa vytvorí ako `DateTime` podľa počtu sekúnd od roku 1970. Čas je vo formáte UTC. Ostatné hodnoty sa čítajú veľmi podobne. Všetky hodnoty sa zapisujú aj do `fixedParamstext` stringu.

Výpis `fixedParamstext` stringu pre konkrétny súbor:

```

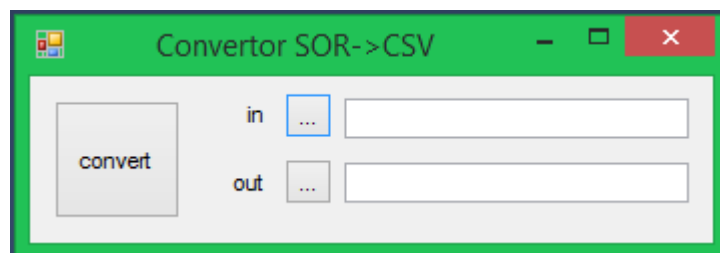
FixedParamsBlock:
Datetime(UTC):  6/23/2015 13:37:43
Unit:           meters
Wavelength:     1622
Pulsewidth:     30 ns
Sample spacing:  0.003125 us
Datapoint count: 15672
Refr. index:    1.468
BC:             -82.6
Averages num:   1247
Averaging time: 1.5 s
Range:          9.79374 km
Loss thr:       0.02 dB
Refl. thr:      -65.535 dB
EOTthr:         5 dB|
Tracetype:      standard trace

```

Obr. 4.22: Výpis `fixedParamstext` stringu

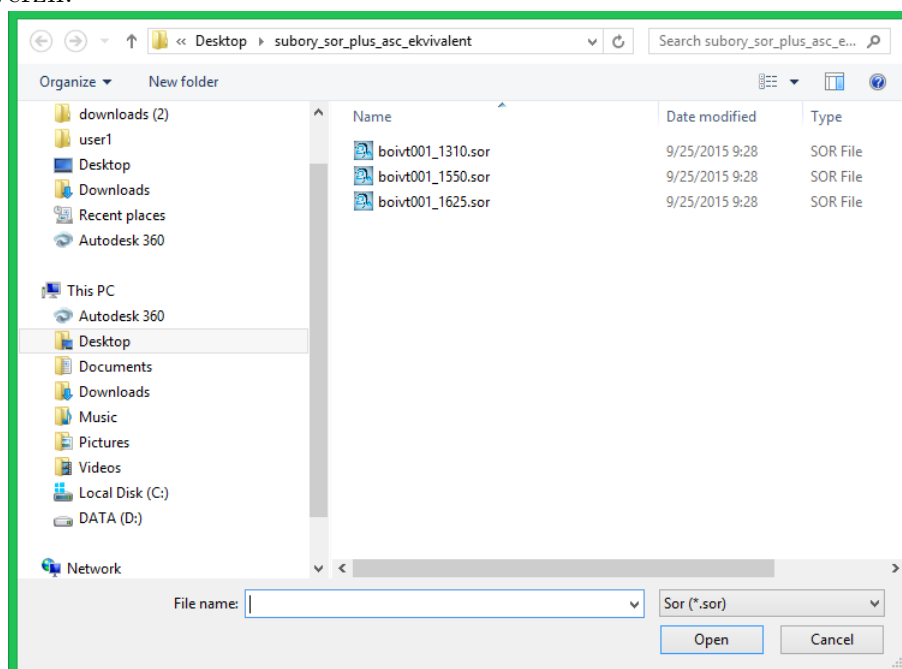
4.2.4 SOR-CSV konvertor

Súčasťou mojej diplomovej práce je aj malý program, ktorý konvertuje súbory SOR do CSV. Vstupom pre tento program je SOR súbor vo verzii 2.x a výstupom je CSV súbor, kde na každom riadku sa nachádza dvojica polohy meraného bodu v km a útlm v dB. Program Konvertor využíva triedu `SorParser`. Uživatelské rozhranie je zobrazené na obrázku nižšie.



Obr. 4.23: Uživatelské rozhranie programu Konvertor

Pred spustením je nutné zadať vstupný a výstupný súbor tlačidlom ... pri in a out. Tlačidlo spustí sprievodcu otvorenia súboru. Po stlačení tlačidla convert dôjde ku konverzii.



Obr. 4.24: Sprievodca otvorením súboru.

```
0.000638617199216087 17.346
0.00127723439843217 17.543
0.00191585159764826 17.591
0.00255446879686435 17.597
0.00319308599608044 17.505
0.00383170319529652 17.266
0.00447032039451261 17.051
0.0051089375937287 16.984
0.00574755479294478 16.992
0.00638617199216087 16.983
```

Obr. 4.25: Časť exportovaného CSV súboru.

5 ZÁVER

V teoretickej časti diplomovej práce sa venujem popisu optických vlákien a prístroju OTDR.

V prvej kapitole opisujem optické vlákno a jeho dve najdôležitejšie vlastnosti - disperziu a útlm. Minimálny útlm v útlmovej charakteristike optického vlákna na obrázku 1.2 na vlnovej dĺžke 1550 nm objasňuje najčastejšie použitie tejto vlnovej dĺžky svetla vo vlákne. V časti 1.2 opisujem základné rozdelenie vlákien na mnohovidové vlákno a jednoviidové vlákno. Jednoviidové vlákna sú viac vhodné na použitie na veľké vzdialenosti ako mnohovidové pre svoj nízky merný útlm typicky 0,2 dB/km pri 1550 nm. V časti 1.4 sa nachádza popis najpoužívanějších jednoviidových vlákien od organizácie ITU-T, vrátane vlákna štandardu G.652 .

V druhej kapitole vysvetľujem meranie útlmu optických trás. Priame metódy - metóda dvoch dĺžok a metóda vložených strát používajú zdroj svetla a merač optického výkonu. Vyžadujú prístup k oboom koncom vlákna. Priame metódy vynikajú vysokou presnosťou v meraní útlmu.

Tretia kapitola je venovaná prístroju OTDR. OTDR pracuje na princípe Rayleighovho rozptylu a Fresnelovho odrazu. V tejto kapitole opisujem základné pojmy ako je dynamický rozsah, mŕtva zóna, rozlíšenie a vlnová dĺžka. V časti 3.4.2 sa nachádza popis udalostí na optickej trase. Z nich najdôležitejšie sú odraz na konektore a zvar.

Zadaním praktickej časti bolo vytvoriť aplikáciu na zobrazenie dát z prístroja OTDR. V praktickej časti práce som vytvoril aplikáciu v programovacom jazyku C# . Aplikácia dokáže pracovať proprietárnym typom súboru sor. Aplikácia dokáže zobrazíť až tri merania v jednom grafe. V aplikácii je možné približovať, oddalovať a posúvať zobrazenie. Aplikácie automaticky detekuje udalosti na signále načítanom zo sor súboru (detekcia hrán). Je možné aj priame zobrazenie nameraných polôh udalostí zo súboru sor. Udalosti je možné manuálne pridávať. V tabuľke udalostí sa dáta automaticky vyhodnocujú. V aplikácii je implementovaný aj odšumovací filter na vyhladenie hrán signálu. K projektu som ešte vytvoril SOR-CSV konvertor, ktorý exportuje dátové body ako CSV súbor.

LITERATÚRA

- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. 1. vydání. Brno: Miloslav Filka, 2009, 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] *GN Nettest. Understanding OTDRs* [online]. 2000 [cit. 2015-12-06]. Dostupné z URL: <http://www.celemetrix.com.au/_literature_4374/Understanding_OTDRs>.
- [3] *OM4 - The Next Generation of Multimode Fiber* [online]. Furukawa Electric North America [cit. 2015-12-07]. Dostupné z URL:<http://www.fols.org/fols_library/white_papers/documents/OFSOM4TheNextGenerationofMultimodeFiber.pdf>.
- [4] *Optical fiber standards* [online]. [cit. 2015-12-07]. Dostupné z URL: <http://www.dipolnet.com/optical_fiber_standards_bib327.htm>.
- [5] *Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)* [online]. FOA, 2015 [cit. 2015-12-07]. Dostupné z URL: <<http://www.thefoa.org/tech/ref/testing/OTDR/OTDR.html>>.
- [6] *Optical Time Domain Reflectometers* [online]. Agilent Technologies, 2001 [cit. 2015-12-07]. Dostupné z URL: <<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/E6000-91017.pdf?id=65325>>.
- [7] *OTDR Theory training* [online]. Anritsu, 2010 [cit. 2015-12-07]. Dostupné z URL: <http://dataedge.ie/wp-content/uploads/2013/07/otdr_theory_workshop.pdf>.
- [8] Testequipmentstore. EXFO FTB-1 OTDR [obrázok]. In: *EXFO FTB-1 OTDR* [online]. testequipmentstore.weebly.com, 2015, [cit. 2015-12-06]. Dostupné z URL: <http://testequipmentstore.weebly.com/uploads/1/7/6/0/17601239/s158498098249215472_p59_i1_w470.jpeg>.
- [9] Telegraph. Optical fibres [obrázok]. In: *What is fibre optic broadband?* [online]. Telegraph, 2015, [cit. 2015-12-06]. Dostupné z URL: <<http://www.telegraph.co.uk/financialservices/utilities/compare-TV-phone-broadband/9372577/What-is-fibre-optic-broadband.html>>.
- [10] *Vybrané aspekty měření výkonnosti optických tras* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013 [cit. 2015-12-06]. Dostupné z URL: <http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/150.pdf>.

- [11] YASIN, Zafar. Different Modes of Optical Fibers [obrázok]. In: *Optical fibre communication* [online]. Stanford university, 2014, [cit. 2015-12-06]. Dostupné z URL: <<https://www.slac.stanford.edu/slac/sass/talks/opticalfiber.pdf>>.
- [12] XU, Jack. *Practical C# Charts and Graphics: Advanced Chart and Graphics Programming for Real-World .NET Applications*. 1. vydání. Phoenix, USA: UniCAD Publishing, 2007. ISBN 978-0-9793725-0-6.4
- [13] *The OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) Data Format* [online]. Hsin-Yu Sidney Li, 2015 [cit. 2015-12-05]. Dostupné z URL: <<http://morethanfootnotes.blogspot.cz/2015/07/the-otdr-optical-time-domain.html>>.

ZOZNAM PRÍLOH

A Obsah priloženého CD

73

A OBSAH PŘÍLOŽENÉHO CD

Na priloženom CD sa nachádza nasledujúci obsah:

- Elektronická verzia práce vo formáte pdf
- Súbor priloha.zip .

Súbor priloha.zip obsahuje priečinky detekcia_hran, konvertor_sor, otdraplikacia, vzorove_sobory, súbory zobec-charts-17.05.07.1.pdf a vitek-udeleni-licence-20170524.1-signed.pdf.

Priečinok detekcia_hran obsahuje matlab .m súbory potrebné pre detekciu hrán v signále a odšumovanie. Súbor data1310.mat obsahuje namerané dáta prístrojom otdr pri vlnovej dĺžke 1310 nm. Súbor DetectEdgesProject.m spúšťa celý Matlab projekt.

Priečinok konvertor_sor obsahuje súbory projektu pre Visual Studio. Konvertor je možné spustiť .exe súborom v priečinku bin-> Debug

Priečinok otdraplikacia obsahuje súbor OTDR.exe, ktorým sa spúšťa aplikácia na zobrazenie nameraných dát z prístroja OTDR. Tiež obsahuje aj zdrojové kódy pre Visual Studio.

Priečinok vzorove_sobory obsahuje 3 vzorové sor súbory.

Súbor vitek-udeleni-licence-20170524.1-signed.pdf je licencia na grafovú knižnicu.

Súbor zobec-charts-17.05.07.1.pdf je dokumentácia ku grafovej knižnici.